

Rec'd PCT/PTO 28 APR 2005

PCT/EP 03/534265

BUNDESRREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP 03/14211



REC'D 10 FEB 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 61 583.7

Anmeldetag: 31. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: ebm-papst St. Georgen GmbH & Co KG,
St Georgen im Schwarzwald/DE

(vormals: PAPST-MOTOREN GmbH & Co KG)

Bezeichnung: Rotorstellungssensoranordnung und Verfahren zur
Erfassung der Rotorstellung

IPC: H 02 P 6/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stark

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

A 9161
06/00
EDV-L

P61.12D268

DE-1026

30.12.2002

Rotorstellungssensoranordnung und Verfahren zur Erfassung der Rotorstellung

Die Erfindung betrifft eine Rotorstellungssensoranordnung und ein Verfahren zur Erfassung der Rotorstellung, insbesondere für einen Außenläufer-Motor.

Aus der US 6,400,109 B1 ist eine Rotorstellungssensoranordnung für einen Außenläufermotor bekannt, bei der die Rotorstellung mit Hilfe von digitalen Hallgeneratoren erfasst wird.

Dabei gibt jeweils der Signalwechsel eines von den digitalen Hallgeneratoren erzeugten Signals an, dass eine bestimmte Rotorstellung im Bereich eines Wechsels des detektierten Magnetfelds erreicht wurde und in welche Richtung der Wechsel stattgefunden hat. Man erhält so an diskreten Rotorstellungen eine Rotorstellungsinformation.

Es ist deshalb eine Aufgabe der Erfindung, eine neue Rotorstellungsanordnung und ein neues Verfahren zur Erfassung der Rotorstellung bereitzustellen.

Nach einem ersten Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch das Verfahren gemäß Patentanspruchs 1.

Die Umwandlung des Rotorstellungssignals in einen digitalen Wert mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit ermöglicht es, auch im Inneren des Winkelbereichs eines Sensorpols Informationen aus dem Rotorstellungssignal zu erhalten.

Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch einen Elektromotor gemäß Patentanspruch 21.

Die Verwendung eines A/D-Wandlers mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit ermöglicht es bei einem Außenrotor, auch im Inneren des Winkelbereichs eines Sensorpols Informationen aus dem Rotorstellungssignal zu erhalten.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen und in der Zeichnung dargestellten, in keiner Weise als Einschränkung der Erfindung zu verstehenden Ausführungsbeispielen, sowie aus den Unteransprüchen. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines zweipoligen Rotors eines Innenläufermotors,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines bei einem Rotor nach Fig. 1 gemessenen Rotorstellungssignals,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines zweipoligen Rotors eines Außenläufermotors,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines bei einem Rotor nach Fig. 3 gemessenen Rotorstellungssignals,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Außenläuferrotors mit einem 28-poligen Sensormagneten,

Fig. 6 eine schematische Darstellung des Außenläuferrotors aus Fig. 5 in abgewickelter Darstellung,

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines bei einem Außenläuferrotor nach Fig. 5 gemessenen Rotorstellungssignals,

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Periode eines Rotorstellungssignals,

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Normierung des Rotorstellungssignals gemäß Fig. 8,

Fig. 10 eine schematische Darstellung des Normierungsvorgangs gemäß Fig. 9,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Normierungsvorgangs mit einer Filterung,

Fig. 12 ein Rotorstellungssignal nach der Normierung,

Fig. 13 eine Darstellung eines Periodenzählers über einen Rotorstellungswinkelbereich,

Fig. 14 eine schematische Darstellung der Rotorstellungssignale und des Wertes PER des zugehörigen Periodenzählers,

Fig. 15 eine schematische Darstellung der Rotorstellungssignale und eines zugehörigen Wertes ϕ_{el} ,

Fig. 16 eine Darstellung des Wertes ϕ_{el} über einen Rotorstellungswinkelbereich,

Fig. 17 eine Darstellung des berechneten Winkels ϕ_{calc}

Fig. 18 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Motors,

Fig. 19 einen Aufbau eines Programms zur Steuerung des Motors aus Fig. 18,

Fig. 20 eine Routine MV-INTERRUPT des Programms aus Fig. 19,

Fig. 21 eine Routine CALC_MV_N des Programms aus Fig. 19,

Fig. 22 eine Routine CALC_PER des Programms aus Fig. 19,

Fig. 23 eine Routine SET_MAX/MIN des Programms aus Fig. 19,

Fig. 24 eine Routine CALC_PHI des Programms aus Fig. 19,

Fig. 25 eine Routine COMMUT des Programms aus Fig. 19,

Fig. 26 eine Routine CALC_n des Programms aus Fig. 19,

Fig. 27 eine Routine RGL des Programms aus Fig. 19,

Fig. 28 eine schematische Darstellung eines Außenrotors und eines Rotorstellungssensors, und

Fig. 29 ein von dem Rotorstellungssensor aus Fig. 28 detektiertes Rotorstellungssignal, sowohl für eine digitale als auch für eine analoge Erfassung.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines zweipoligen Rotors 10 eines Innenläufermotors mit einem ersten analogen Rotorstellungssensor 12 und einem zweiten, um 90° el. und 90° mech. versetzten analogen Rotorstellungssensor 14.

Fig. 2 zeigt die von den analogen Rotorstellungssensoren 12 und 14 detektierten Signale 16, 18 bei einer Drehung des Rotors 10 in Richtung des Pfeiles 11. Es ergibt sich ein sinusförmiges Signal 16 von dem Rotorstellungssensor 12 und ein kosinusförmiges Signal 18 von dem Rotorstellungssensor 14.

Aus den Signalen 16 und 18 kann bei jeder Stellung des Rotors 10 und damit zu jedem Zeitpunkt die genaue Stellung des Rotors eindeutig ermittelt werden. Man spricht von einem Absolutwertgeber.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines zweipoligen Rotors 20 eines Außenläufermotors, mit einem ersten Magneten 32 (N = Nordpol, S = Südpol) und einem zweiten Magneten 34, mit einem ersten analogen Rotorstellungssensor 22

und einem zweiten, um 90° el. und 90° mech. versetzten analogen Rotorstellungssensor 24.

Fig. 4 zeigt die von den Rotorstellungssensoren 22 und 24 detektierten Signale 26, 28 bei einer Drehung des Rotors 20 in Richtung des Pfeiles 21. Sowohl das Signal 26 von dem Rotorstellungssensor 22 als auch das Signal 28 des Rotorstellungssensors 24 sind aufgrund der Form der Außenläufermagneten 32, 34 in den Bereichen 30, 30', 30'', 30''', 30'''' im Folgenden 30 genannt, um ihr Maximum MAX und Minimum MIN abgeflacht ("trapezförmige Magnetisierung"), so dass in diesen Bereichen 30 die Bestimmung der Rotorstellung schwierig bzw. im Extremfall unmöglich ist. Daher werden üblicherweise digitale Hallgeneratoren verwendet, welche ein Signal liefern, das üblicherweise zwischen einem Potential HIGH (z.B. +5 V) und einem Potential LOW (z.B. 0 V) wechselt, und es werden die Wechsel detektiert, welche an den Nulldurchgängen 31, 31', 31'', 31''', 31'''' der Signale 26, 28 stattfinden.

Die Form der Signale 26, 28 weist flache Bereiche 30 auf, da beispielsweise bei der Darstellung gemäß Fig. 3 der Rotorstellungssensor 24 in den benachbarten Rotorstellungsbereichen eine ähnlich große Menge an permanentmagnetischem Material des Pols 32 "sieht", während sich bei dem Rotorstellungssensor 14 bei der Darstellung gemäß Fig. 1 eine maximale Menge an in die gleiche Richtung magnetisiertem permanentmagnetischem Material in dessen Nähe befindet, und diese Menge bei einer weiteren Drehung abnimmt.

Durch Verwendung einer sinusförmigen Magnetisierung würde das Rotorstellungssignal mehr einer Sinusform gleichen. Ein Motor mit sinusförmiger Magnetisierung kann jedoch nur weniger Leistung liefern als ein Motor mit trapezförmiger Magnetisierung.

Fig. 28 zeigt eine schematische Darstellung eines Außenrotors 96 und eines Rotorstellungssensors 95, und **Fig. 29** zeigt das von dem Rotorstellungssensor 95 detektierte Rotorstellungssignal, sowohl für eine digitale als auch für eine analoge Erfassung.

Der Außenrotor 96 aus Fig. 28 weist vier Pole 91, 92, 93 und 94 auf, zwischen denen sich jeweils eine Pollücke 91', 92', 93' und 94' befindet. Der Rotorstellungssensor 95 detektiert die Stellung des Rotors 96, und das entsprechende Rotorstellungssignal bei einer vollständigen Erfassung ist als Linie 97 in Fig. 29 dargestellt.

Wird ein digitaler Rotorstellungssensor 95 und/oder ein A/D-Wandler mit einer Auflösung von 1 Bit verwendet, so ergeben sich die in Fig. 29 mit einem Kreis dargestellten Messpunkte 98, welche entweder den Wert 0 oder den Wert 1 haben. Diese Messpunkte 98 geben nur im Bereich der Pollücken 91', 92', 93' und 94' eine Information über die aktuelle Rotorstellung, da im Inneren des Winkelbereichs eines der Pole 91, 92, 93 und 94 der Messwert entweder ständig 0 oder ständig 1 ist.

Wird dagegen ein analoger Rotorstellungssensor 95 und ein A/D-Wandler mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit verwendet, so ergeben sich die in Fig. 29 mit einem Kreuz dargestellten Messpunkte 99, welche das Rotorstellungssignal – je nach Auflösung des A/D-Wandlers – wesentlich genauer wiedergeben. Die Messpunkte 99 nehmen auch im Inneren des Winkelbereichs eines Pols 91, 92, 93 und 94 unterschiedliche digitale Werte an, so dass auch in diesen Bereichen die Drehstellung des Rotors 96 ermittelt werden kann. Das Ausführungsbeispiel zeigt die Verwendung eines 3 Bit A/D-Wandlers, welcher die acht Werte 0 .. 7 ausgeben kann.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Rotors 40 eines Außenläufermotors, und **Fig. 6** zeigt den Rotor 40 in abgewickelter Darstellung. Dieser hat einen vierpoligen Antriebsmagnet 50 mit Polen 51, einen unmagnetisierten Bereich 52 und einen 28-poligen Sensormagnet 54 mit Polen 55, einen ersten analogen Rotorstellungssensor 42 und einen zweiten, um 90° el.(sensor) versetzten analogen Rotorstellungssensor 44, welche Rotorstellungssensoren 42, 44 dem Sensormagneten 54 zugeordnet sind. Der Sensormagnet hat 14 Polpaare, und damit entsprechen 360° el.(sensor) einem mechanischen Winkel von $360^\circ \text{ mech.} / 14 \approx 25,71^\circ \text{ mech.}$. Ein elektrischer Winkel von 90° el.(sensor) entspricht somit einem mechanischen Winkel von ca. $25,71^\circ \text{ mech.} / 4 \approx 6,43^\circ \text{ mech.}$

Die Rotorstellungssensoren 42, 44 können ebenfalls um einen Winkel $n \cdot 180^\circ$ el. (sens.) $+ 90^\circ$ el. (sens.) mit $n = 1, 2, 3, \dots$ versetzt sein, wobei für $n = 1, 3, 5$ etc. das Vorzeichen des Rotorstellungssignal umgedreht ist.

Fig. 7 zeigt eine Messung des von dem Rotorstellungssensor 42 detektierten Signals 46. Das Signal 46 ist aufgrund der großen Polzahl sinusförmig und weist 14 Maxima MAX und 14 Minima MIN pro Umdrehung (360° mech.) des Rotors 40 auf. Das kosinusförmige Signal 48 des Rotorstellungssensors 44 ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Der unmagnetisierte Bereich 52 aus Fig. 5 und Fig. 6 bewirkt einen größeren Abstand zwischen dem Antriebsmagneten 50 und dem Sensormagneten 54. Die Signale 46, 48 werden dadurch weniger durch das Magnetfeld des Antriebsmagneten 50 gestört, und dies ermöglicht eine genauere Detektion.

Bevorzugt werden der Antriebsmagnet 50 und der Sensormagnet 54 einstückig gefertigt. Dies geschieht beispielsweise durch gleichzeitiges Aufmagnetisieren der Pole 51 des Antriebsmagneten 50 und der Pole 55 des Sensormagneten 54 auf ein magnetisches Material. Insbesondere bei kleinen Motoren kann die unmagnetisierte Zone 52 auch entfallen.

Bevorzugt findet bei jedem Übergang von Nord nach Süd (N \rightarrow S) des Antriebsmagneten 51 auch ein Übergang von Nord nach Süd des Sensormagneten 54 statt, so dass die Signale 46, 48 durch die Überlagerung der Magnetfelder im Bereich des jeweiligen Nulldurchgangs nicht geschwächt werden.

Dies wird erreicht, indem der Sensormagnet 54 im Bereich jedes Pols des Antriebsmagneten 50 eine ungerade Anzahl von Polen, z.B. 1, 3, 5, 7 aufweist.

Bei einem vierpoligen Antriebsmagneten 50 (Rotorpole = RP = 4) kann der Sensormagnet 54 beispielsweise $4 \cdot 7 = 28$ Sensorpole (SP = 28) oder $4 \cdot 5 = 20$ Sensorpole (SP = 20) aufweisen, oder allgemein

$SP = (2n - 1) \cdot RP$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$

Dabei wird das Rotorstellungssignal auch bei einer trapezförmigen Magnetisierung auf Grund der großen Polzahl sinusförmig, so dass eine gute Messung möglich ist.

Normierung der Signale

Die gemessenen Signale 46, 48, vgl. Fig. 7, weisen auf Grund vielseitiger Einflüsse keine perfekte Sinus-/Kosinusform auf. Die Abweichungen entstehen beispielsweise durch mechanische Exzentrizitäten und Fertigungstoleranzen, Überlagerung anderer Magnetfelder, durch Wärme hervorgerufene Schwächung des Sensormagnetfelds und Ausdehnung des Rotors 40, sowie durch bei hohen Drehzahlen entstehende Signalverminderungen durch Begrenzungen der Sensoreigenschaften.

Diese Abweichungen führen zu Fehlern bei der Berechnung des Rotorstellungswinkels ϕ . Daher wird eine Normierung der Signale 46, 48 durchgeführt.

Fig. 8 zeigt eine Periode (360° el.(sensor)) des sinusförmigen Signals 46 aus Fig. 7 nach der Erfassung durch einen A/D-Wandler, also als Folge von digitalen Werten.

Fig. 9 zeigt das sinusförmige Signal 46' nach einem ersten Schritt der Normierung und das sinusförmige Signal 46'' nach einem zweiten Schritt der Normierung.

Fig. 10 zeigt schematisch die Normierungsvorrichtung für den Normierungsvorgang aus Fig. 9.

Bei jeder Umdrehung des Rotors 40 werden Messwerte MV für jede Periode des sinusförmigen Signals 46 in einer Erfassungsvorrichtung 70 erfasst. In einem Filter FILTER 80 wird aus den Messwerten MV das Maximum MAX und das Minimum MIN ermittelt, und in einer Korrekturwertvorrichtung 72 werden sowohl das Minimum MIN als auch ein Wert $ZOOM = AD_MAX / (MAX - MIN)$ gespeichert, wobei AD_MAX der maximale Wert des A/D-Wandlers ist. Bei einem 16-Bit A/D-Wandler ist der Wert $AD_MAX = 65.535$, bei einem 10-Bit A/D-Wandler ist $AD_MAX = 1023$.

Bei einer nachfolgenden Umdrehung des Rotors 40 wird für jeden Messwert MV des sinusförmigen Signals 46 in einer Berechnungsvorrichtung 74 die folgende Normierung durchgeführt.

$$MV_N := (MV - MIN) \cdot ZOOM$$

Das Abziehen des Wertes MIN eliminiert den Gleichspannungsoffset (DC-Offset) 60 und führt zu der Kurve 46' in Fig. 9.

Die anschließende Multiplikation mit dem Wert ZOOM führt zu einer Streckung der Kurve 46' und ist als Kurve 46'' dargestellt. Durch diese Streckung wird zum einen eine Normierung der Amplituden erreicht, und zum anderen wird der volle Wertebereich 0 .. DIGITAL_MAX des verwendeten digitalen Zahlenformates genutzt. Dies ermöglicht es auch, für die Auflösung des A/D-Wandlers einen geringeren Wert als für die Auflösung des verwendeten digitalen Zahlenformats zu wählen.

Beispiel zur Normierung:

Bei der vorhergehenden Umdrehung des Rotors 40 wurden in der entsprechenden Periode die Werte MIN = 20.000 und MAX = 40.000 ermittelt. Daraus ergibt sich bei einem 16-Bit A/D-Wandler mit AD_MAX = 65.535 und einem 16-Bit Zahlenformat mit DIGITAL_MAX = 65.535 ein Wert ZOOM = $65.535 / 20.000 = 3,27675$.

In der nachfolgenden Umdrehung des Rotors 40 führt die Normierung zu den folgenden Ergebnissen:

MV = 20.000 wird zu MV_N = 0

MV = 40.000 wird zu MV_N = 65.535

MV = 19800 wird zu MV_N = 0 (- 655)

MV = 41.000 wird zu MV_N = 65.535 (68.812)

MV = 30.000 wird zu MV_N = 32768

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich ist, werden Werte, die außerhalb des Wertebereichs 0 .. AD_MAX bzw. 0 .. DIGITAL_MAX liegen, auf diesen begrenzt.

Mit dem kosinusförmigen Signal 48 wird die gleiche Normierung durchgeführt (nicht dargestellt). Es wird somit beispielsweise für die Normierung bei dem in dem Ausführungsbeispiel dargestellten 28-poligen Sensormagneten 54 die folgende Anzahl an Speicherplätzen benötigt:

$$14 \text{ (Anzahl Sensorpole)} \cdot 2 \text{ (MIN und ZOOM)} \cdot 2 \text{ (kosinusförmiges und sinusförmiges Signal)} = 56 \text{ Speicherplätze}$$

Bevorzugt findet das Speichern der Korrekturwerte MIN und ZOOM fortdauernd statt, da beispielsweise durch Temperaturschwankungen Änderungen der Signale 46 und 48 auftreten können.

Fig. 11 zeigt schematisch eine bevorzugte Ausführungsform der Normierungsvorrichtung aus Fig. 10.

Bei dieser Normierungsvorrichtung findet in dem Filter FILTER 80 jeweils eine Mittelwertbildung über die vorhergehenden Korrekturwerte MIN und ZOOM statt, indem z.B.

$$\text{MIN} = 0,9 \cdot \text{MIN_OLD} + 0,1 \cdot \text{MIN}$$

als neuer Wert MIN und

$$\text{ZOOM} = 0,9 \cdot \text{ZOOM_OLD} + 0,1 \cdot \text{ZOOM}$$

als neuer Wert ZOOM gespeichert werden. Bevorzugt werden die Werte ZOOM_OLD und MIN_OLD beim Start mit einem vorgegebenen Wert initialisiert.

Die Werte MIN_OLD und ZOOM_OLD werden jeweils in einer Speichervorrichtung 82 zwischengespeichert. Durch die Mittelung wird die Auswirkung von stark abweichenden Messwerten gemindert.

Alternativ kann auch eine Mittelung der Werte MIN und MAX stattfinden, aus denen auch der Korrekturwert ZOOM berechnet wird.

Fig. 12 zeigt das Signal 46", welches aus der Normierung des Signals 46 hervorgegangen ist und auf einem Oszilloskop ausgegeben wurde. Der DC-Offset und die vertikale Lage des Signals sind durch die Einstellung des Oszilloskops

entstanden. Alle Amplituden haben auf Grund der durchgeführten Normierung die annähernd gleiche Höhe.

Berechnung des Rotorstellungswinkels phi

Fig. 13 zeigt eine Darstellung des Werts PER, welcher auf einem Oszilloskop ausgegeben wurde, und **Fig. 14** zeigt schematisch die Erfassung der einzelnen Perioden des sinusförmigen Signals 46 und des kosinusförmigen Signals 48 mittels eines Periodenzählers PER.

Das sinusförmige Signal 46 und das kosinusförmige Signal 48 des in dem Ausführungsbeispiel dargestellten 28-poligen Sensormagneten 54 durchlaufen pro Umdrehung (360° mech.) des Rotors 40 14 Perioden, also 14 mal 360° el.(sensor), vgl. Fig. 6. Bei jeder Periode wird der Periodenzähler PER um 1 erhöht wird, und nach 14 Erhöhungen wird er wieder auf den niedrigsten Wert zurückgesetzt. Er durchläuft somit die Werte 0, 1, 2, 3, ... 12, 13, 0,

Die Erhöhung des Periodenzählers PER erfolgt jeweils, wenn das sinusförmige Signal 46 einen "Nulldurchgang" hat (ungefähr bei $AD_MAX/2$, vgl. Fig. 9), und das kosinusförmige Signal 48 ein Maximum hat (ungefähr bei dem Wert AD_MAX), vgl. Fig. 14. Es ergibt sich ein stufenförmiges Signal PER, welches nach jeweils 14 Stufen wieder mit dem niedrigsten Wert anfängt.

Die Darstellung des Werts PER, welcher auf einem Oszilloskop ausgegeben wurde, zeigt eine Treppenform, und der berechnete Rotorstellungswinkel ϕ_{calc} beträgt an den Sprüngen des Werts PER jeweils genau

$$\phi_{calc} = PER * (360^\circ/14) = PER \cdot (360^\circ/SP)$$

Fig. 15 zeigt schematisch die Berechnung eines Wertes ϕ_{el} aus dem sinusförmigen Rotorstellungssignal 46 und dem kosinusförmigen Rotorstellungssignal 48, und **Fig. 16** zeigt eine Darstellung des Wertes ϕ_{el} , welcher auf einem Oszilloskop ausgegeben wurde, für eine Umdrehung des Rotors 40.

Der genaue Winkel PHI zwischen den Sprüngen des Werts PER lässt sich aus dem sinusförmigen Signal 46, also $MV_SIN = \sin(\phi)$, und dem kosinusförmigen Signal 48, also $MV_COS = \cos(\phi)$, vgl. Fig. 8 und Fig. 9, berechnen. Es gilt

$$\begin{aligned}\phi_{el} &:= \arctan(\sin(\phi_{sensor}) / \cos(\phi_{sensor})) \\ &= \arctan(MV_SIN/MV_COS)\end{aligned}$$

Der berechnete Winkel ϕ_{el} durchläuft insgesamt 14 mal den Wertebereich 0° bis 360° el.(sensor), da der Rotor 40 einen Sensormagnet 54 mit 14 Polpaaren aufweist.

Alternativ kann auch ein einziger Rotorstellungssensor 42 verwendet werden. Da jedoch jeder Wert zweimal vorkommen kann und damit nicht eindeutig ist, müssen in diesem Fall die vergangenen Rotorstellungssignale berücksichtigt werden, um die Eindeutigkeit wieder herzustellen.

Fig. 17 zeigt eine Darstellung des berechneten Rotorstellungswinkels ϕ_{calc} , welcher auf einem Oszilloskop ausgegeben wurde.

Der berechnete Rotorstellungswinkel ϕ_{calc} ergibt sich zu

$$\phi_{calc} = PER * (360^\circ/14) + \phi_{el}/14$$

bzw. allgemein zu

$$\phi = PER * (360^\circ/SP) + \arctan(MV_SIN/MV_COS)/SP$$

Es kann also zu jeder Rotorstellung durch Zählen der Perioden des Rotorstellungssignals (bzw. der Rotorstellungssignale) und zusätzliche Auswertung der in dem Rotorstellungssignal (bzw. den Rotorstellungssignalen) enthaltenen Winkelinformation der genaue Rotorstellungswinkel ϕ berechnet werden, und man erhält einen Absolutmesswertgeber für einen Motor mit einem Außenläufer-Sensormagneten.

Dies wäre mit digitalen Hallgeneratoren nicht möglich, da bei diesen nur bei bestimmten Motorstellungen ein Wechsel der Rotorstellungssignale auftritt und zwischen diesen Wechseln aus den Rotorstellungssignalen keine weitere Information abgeleitet werden kann.

Um bei Motoren, die in beide Drehrichtungen laufen können, eine Messung in beide Drehrichtungen zu ermöglichen, kann die Drehrichtung aus der Differenz $\phi_{el} - \phi_{el_OLD}$ des aktuell ermittelten Winkels ϕ_{el} und des in der vorhergehenden Messung ermittelten Winkels ϕ_{el_OLD} ermittelt werden. Es ist darauf zu achten, dass diese Ermittlung nicht zum Zeitpunkt eines Sprungs von 360°_{el} nach 0°_{el} bzw. umgekehrt stattfindet.

Ist das Vorzeichen der Differenz positiv, so läuft der Motor in die "positive" Richtung. Die Berechnung des Periodenzählers PER erfolgt wie oben ausgeführt.

Ist das Vorzeichen der Differenz jedoch negativ, so läuft der Motor in "negativer" Richtung. Um weiterhin den korrekten Rotorstellungswinkel zu ermitteln, wird der Periodenzähler bei negativer Drehrichtung an den Stellen, an denen er bei positiver Drehrichtung inkrementiert wird, stattdessen dekrementiert. Die Berechnung des Rotorstellungswinkels ϕ_{calc} ist identisch.

Fig. 18 zeigt einen erfindungsgemäßen Motor 38 mit einem Stator 39, einem Rotor 40 und einem Mikroprozessor oder Mikrocontroller μC 100.

Der Stator 39 weist drei Wicklungsanschlüsse 131, 132, 133 auf, welche jeweils über einen oberen Transistor 114, 115 und 116 mit einer Plusleitung 122 und jeweils über einen unteren Transistor 117, 118 und 119 mit einer Masseleitung GND 124 verbunden sind. Drei Wicklungen 111, 112 und 113 sind zwischen jeweils zwei Wicklungsanschlüssen 131, 132 und 133 geschaltet.

Die oberen Transistoren 114, 115 und 116 und die unteren Transistoren 117, 118 und 119 sind über Steuerleitungen 161, 162, 163, 164, 165 und 166 mit einer Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167 verbunden.

Der Rotor 40 weist einen Sensormagnet 54 mit 28 Polen 55, einen ersten Rotorstellungssensor 42 und einen zweiten Rotorstellungssensor 44 auf, vgl. Fig. 5

und Fig. 6. Die Rotorstellungssensoren 42, 44 sind über Leitungen 140, 142 mit dem μ C 100 verbunden.

Der μ C 100 weist einen Timer TIMER1 156, einen A/D-Wandler A/D 144, eine Rotorstellungsberechnungsanordnung CALC_PHI 146 mit Hilfsanordnungen 146' (CALC_MV_N, CALC_PER, SET_MAX/MIN), eine Kommutierungsvorrichtung COMMUT 148, eine Drehzahlberechnungsanordnung CALC_n 150, einen Regler RGL 152 und eine Rotorstellungswinkelverwertungsanordnung PHI_WORK 154 auf.

Die Kommutierungsanordnung COMMUT 148 gibt über eine oder mehrere Leitungen 128 einen Wert COMM an die Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167 aus. Der Wert COMM 128 wird in Abhängigkeit von dem berechneten Winkel PHI_CALC bestimmt.

Abhängig von diesem Wert COMM bestimmt die Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167, welche der oberen Transistoren 114, 115 und 116 und der unteren Transistoren 117, 118 und 119 geöffnet und welche geschlossen werden.

So können die Wicklungen 111, 112 und 113 in beide Richtungen bestromt werden. Man spricht von einer Vollbrückenschaltung.

Um die Höhe des durch die Wicklungen 111, 112 und 113 fließenden Stroms steuern oder regeln zu können, werden die gemäß dem Signal COMM 128 zu schließenden oberen Transistoren 114, 115 und 116 bzw. die unteren Transistoren 117, 118 und 119 über ein getaktetes Signal angesteuert. Hierzu wird der Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167 zusätzlich zu dem Signal COMM 128 über den Regler RGL 152 ein Wert PWM_SW über eine Leitung 126 zugeführt. Das Signal PWM_SW wird von dem Regler 152 berechnet, und es steuert das Tastverhältnis.

Durch die Bestromung des Stators 39 wird der Rotor 40 angetrieben, und die Rotorstellungssensoren 42, 44, welche in der Nähe des Sensormagneten 54 angeordnet sind, erzeugen analoge Rotorstellungssignale SIN_SIG und COS_SIG,

welche über die Leitungen 140, 142 an den A/D-Wandler A/D 144 übertragen werden.

Der A/D-Wandler A/D 144 wandelt die Signale SIN_SIG und COS_SIG in digitale Werte MV_SIN und MV_COS mit einer Auflösung von mindestens zwei Bit um.

Die Werte MV_SIN und MV_COS werden der Rotorstellungsberechnungsanordnung CALC_PHI 146 zugeführt, welche daraus mit Hilfe der Hilfsanordnung 146' einen Absolutwert PHI_CALC berechnet, welcher der momentanen Rotorstellung entspricht.

Der berechnete Absolutwert PHI_CALC wird der Kommutierungsanordnung COMMUT 148 zur Bestimmung des Kommutierungszeitpunkts, der Drehzahlberechnungsanordnung CALC_n 150 zur Bestimmung der Drehzahl n und der Rotorstellungswinkelverwertungsanordnung PHI_WORK 154 für eine weitere Verwertung des berechneten Winkels PHI_CALC zugeführt.

Die Drehzahlberechnungsanordnung CALC_n 150 berechnet die Drehzahl n des Rotors 40, und der Wert n wird dem Regler 152 zugeführt, der daraus einen Stellwert PWM_SW berechnet. Der Stellwert PWM_SW wird über die Leitung 126 an die Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167 ausgegeben und bestimmt das Tastverhältnis der Taktung für die oberen Transistoren 114, 115 und 116 und die unteren Transistoren 117, 118 und 119.

In der Anordnung PHI_WORK 154 werden weitere Aufgaben ausgeführt, welche den Absolutwert PHI_CALC benötigen.

Der Timer TIMER1 156 steuert beispielsweise durch Interrupts den jeweiligen Zeitpunkt für die A/D-Wandlung mit dem A/D-Wandler A/D 144.

Fig. 19 zeigt den Aufbau des in dem μ C 100 ablaufenden Programms.

Das Programm enthält eine Interruptroutine MV-INTERRUPT S300, welche z.B. alle 100 μ s durch einen Interrupt 110 aufgerufen wird, also in regelmäßigen, vorgegebenen Abständen.

In S304 erfolgt eine Initialisierung, bei der beispielsweise die Variablen initialisiert werden. Weiterhin werden die Wicklungen 111, 112 und/oder 113 mit einem vorgegebenen Bestromungsmuster bestromt, damit der Rotor 40 in einen definierten Ausgangszustand gedreht wird. Bei einem vierpoligen Rotormagneten 50 sind jeweils zwei um 180° mech. versetzte Stellungen magnetisch gleichwertig, so dass hier der Ausgangszustand entweder der einen oder der anderen Rotorstellung entspricht.

Alternativ kann der Sensormagnet eine Markierung aufweisen, um die Rotorstellung zuordnen zu können. Würde diese anfängliche Bestromung nicht erfolgen, so wüsste man zwar den relativen Drehwinkel, jedoch nicht den absoluten elektrischen Winkel des Rotormagneten 50, welcher zur Kommutierung notwendig ist.

Daraufhin beginnt eine Hauptschleife bei S306. In S306 wird ein Flag DO_CALC_MV_N abgefragt, und falls es gleich 1 ist (Y = Yes), wird eine Routine CALC_MV_N S307 aufgerufen und danach zu dem Beginn S306 der Hauptschleife zurückgesprungen.

In gleicher Weise wird in S310 überprüft, ob die Routine CALC_PER S311 angefordert wurde, in S314, ob die Routine SET_MAX/MIN S315 angefordert wurde, in S318, ob die Routine CALC_PHI S319 angefordert wurde, in S322, ob die Routine COMMUT S323 angefordert wurde, in S326, ob die Routine CALC_n S327 angefordert wurde, in S330, ob die Routine RGL S331 angefordert wurde, in S334, ob die Routine PHI-WORK S335, angefordert wurde, und in S338 werden schließlich eine Routine ALARM und weitere für den Betrieb des Motors erforderliche Routinen ausgeführt.

Fig. 20 zeigt die Interrupt-Routine MV-INTERRUPT S300, welche beispielsweise alle 100 μ s durch den Interrupt 110 aufgerufen wird, vgl. Fig. 19.

Die Routine MV-INTERRUPT S300 erfasst sowohl die Signale SIN_SIG 140 und COS_SIG 142, vgl. Fig. 18, als auch die momentane Zeit.

In S352 werden über den A/D-Wandler 144 die momentanen Werte der Signale SIN_SIG 140 und COS_SIG 142 eingelesen und den Variablen MV_SIN und MV_COS zugeordnet.

In S354 wird der Wert der Variablen t_MV der letzten Messung der Variablen t_MV_OLD zugeordnet, so dass er für weitere Berechnungen zur Verfügung steht. Der momentane Wert aus dem Timer TIMER1 144 wird ausgelesen und in der Variablen t_MV gespeichert.

In S356 wird die Variable DO_CALC_MV_N auf 1 gesetzt und dadurch die Routine CALC_MV_N S307 angefordert.

Fig. 21 zeigt die Routine CALC_MV_N S307, welche eine Normierung der Messwerte durchführt.

In S360 werden die Werte der Variablen MV_N_SIN und MV_N_COS in den Variablen MV_N_SIN_OLD und MV_N_COS_OLD für weitere Berechnungen gespeichert.

In S362 wird eine Normierung durchgeführt, vgl. Beschreibung zu Fig. 8 und Fig. 9. Hierzu sind für jeden Wert des Periodenzählers PER eine Variable MIN_SIN(PER), ZOOM_SIN(PER), MIN_COS(PER), ZOOM_COS(PER) gespeichert. Die Ergebnisse der Normierungen werden in den Variablen MV_N_SIN und MV_N_COS gespeichert.

In S364 wird die Routine CALC_PER S311 durch Setzen von DO_CALC_PER auf 1 angefordert, und in S366 wird die Variable DO_CALC_MV_N auf 0 zurückgesetzt.

Die Routine CALC_MV_N S307 wird in S368 verlassen.

Fig. 22 zeigt die Routine CALC_PER S311, welche bestimmt, in welcher Periode sich der Rotor 40 (Fig. 18) befindet, und welche bei einem Periodenwechsel die notwendigen Schritte ausführt.

In S380 wird überprüft, ob die Variable MV_N_COS größer als $0,9 * AD_MAX$ ist, ob also das Signal COS_SIG nahe seinem Maximum ist, vgl. Beschreibung zu Fig. 12.

Falls Ja (Y), wird in S382 die Drehrichtung DIR des Rotors 40 überprüft. Ist diese negativ, so wird in S384 überprüft, ob der alte normierte Messwert MV_N_SIN_OLD größer oder gleich dem Wert $AD_MAX/2$ war und der aktuelle normierte Messwert MV_N_SIN kleiner als der Wert $AD_MAX/2$ ist. Dies entspricht einer Prüfung, ob das Signal SIN_SIG 140 einen Nulldurchgang von dem positiven in den negativen Bereich hat, vgl. Beschreibung zu Fig. 12.

Falls Ja, so hat ein Periodenwechsel stattgefunden, und es wird nach S388 gesprungen. Falls Nein, so hat kein Periodenwechsel stattgefunden, und es wird nach S398 gesprungen.

Bei einer positiven (POS) Drehrichtung DIR des Rotors 40 wird in S386 in gleicher Weise überprüft, ob das Signal SIN_SIG 140 einen Nulldurchgang von dem negativen in den positiven Bereich hat, vgl. Beschreibung zu Fig. 12.

Falls Ja, so hat ein Periodenwechsel stattgefunden, und es wird nach S388 gesprungen. Falls Nein, so hat kein Periodenwechsel stattgefunden, und es wird nach S398 gesprungen.

In S388, also nach einem Periodenwechsel, werden die Werte der Variablen ZOOM_SIN(PER) und ZOOM_COS(PER) der letzten Periode auf den neu berechneten Wert gesetzt, vgl. Beschreibung zu Fig. 8 und Fig. 9.

In S392 bzw. S394 erfolgt je nach Drehrichtung DIR des Rotors 40 eine Dekrementierung des Werts der Variablen PER mit der Routine DEC_MOD_SP bzw. eine Inkrementierung des Werts der Variablen PER mit der Routine INC_MOD_SP.

Die Routine DEC_MOD_SP vermindert den Wert der Variablen PER unter Berücksichtigung der Modulofunktion von SP. Bei mehrfachem Aufruf von DEC_MOD_SP und einer Sensorpolzahl $SP = 14$ durchläuft PER somit beispielsweise die Werte 4, 3, 2, 1, 0, 13, 12, ..., 1, 0, 13

In gleicher Weise durchläuft PER bei mehrfachem Aufruf von INC_MOD_SP mit $SP = 14$ die Werte 12, 13, 0, 1, 2, ..., 12, 13, 0,

Somit gibt der Wert $(PER * 360^\circ / SP)$ bei beiden Drehrichtungen genau den Rotorstellungswinkel ϕ zum Zeitpunkt des Periodenwechsels an.

In S396 werden die Variablen MAX_SIN(PER), MIN_SIN(PER), MAX_COS(PER), MIN_COS(PER) auf den mittleren Wert $AD_MAX/2$ zurückgesetzt, um für die neue Periode die maximalen und minimalen Werte neu bestimmen zu können.

In S398 wird die Routine SET_MAX/MIN S315 durch Setzen von DO_SET_MAX/MIN auf 1 angefordert und in S400 die Anforderung von CALC_PER S311 zurückgesetzt.

In S402 wird die Routine CALC_PER S311 verlassen.

Fig. 23 zeigt die Routine SET_MAX_MIN S315, welche die maximalen und minimalen Werte der Messwerte MV_SIN und MV_COS bestimmt und speichert.

In S420 wird überprüft, ob der Messwert MV_SIN größer als der Wert MAX_SIN(PER), dem in dieser Periode PER bisher maximalen Wert MV_SIN, ist. Falls Ja, so wird in S422 MAX_SIN(PER) auf den Wert MV_SIN gesetzt.

In S424 wird überprüft, ob der Messwert MV_SIN kleiner als der Wert $MIN_SIN(PER)$, dem in dieser Periode PER bisher minimalen Wert MV_SIN , ist. Falls Ja, so wird in S426 $MIN_SIN(PER)$ auf den Wert MV_SIN gesetzt.

In den Schritten S428, S430, S432, S434 geschieht in gleicher Weise ein Setzen der Werte $MAX_COS(PER)$ und $MIN_COS(PER)$.

In S436 wird DO_CALC_PHI auf 1 (Anforderung) gesetzt, und in S440 wird das Anforderungsflag DO_SET_MAX/MIN zurückgesetzt.

In S446 wird die Routine verlassen.

Fig. 24 zeigt die Routine $CALC_PHI$ S319, welche den Rotorstellungswinkel ϕ berechnet.

In S450 wird der Wert der Variablen PHI für weitere Berechnungen in der Variablen PHI_OLD gespeichert.

In S452 wird der Rotorstellungswinkel ϕ berechnet und in der Variablen PHI gespeichert, vgl. Beschreibung zu Fig. 14. Die Berechnung der arctan-Funktion kann dabei auch durch das Auslesen aus einer Tabelle ersetzt werden, die beispielsweise jedem Paar (MV_N_SIN , MV_N_COS) einen Funktionswert zuordnet.

In S454, S456 und S458 werden die Routinen $COMMUT$ S323, $CALC_n$ S331 und PHI_WORK S331 durch Setzen der entsprechenden Anforderungsflags angefordert.

In S460 wird das Anforderungsflag DO_CALC_PHI zurückgesetzt, und die Routine wird in S462 verlassen.

Fig. 25 zeigt die Routine $COMMUT$ S323, welche in Abhängigkeit von dem berechneten mechanischen Rotorstellungswinkel PHI für einen vierpoligen Rotormagnet 50 bestimmt, welche der Phasen 111, 112 und/oder 113 eines dreiphasigen Stators 39 bestromt wird, vgl. Fig. 18.

In S470 wird überprüft, ob der Wert PHI kleiner als 30° ist. Falls Ja, wird die Variable COMM auf den Wert 1 gesetzt. Dieser entspricht dem für den Winkelbereich $0^\circ \leq \text{PHI} < 30^\circ$ erforderlichen Kommutierungsmuster, und über die Kommutierungslogik COMMUT LOGIC 167 werden die entsprechenden Phasen 111, 112 und/oder 113 bestromt.

In gleicher Weise wird in den Schritten S472 bis S493 in 30°-Winkelabständen das Kommutierungsmuster COMM auf den erforderlichen Wert gesetzt.

Die Kommutierung erfordert auf Grund des zu jedem Zeitpunkt die Rotorstellung wiedergebenden Wertes PHI keine Zeitmessung, wie sie bei einem Motor ohne Absolutwertgeber notwendig wäre.

Im S494 wird das Anforderungsflag DO_COMMUT zurückgesetzt, und die Routine wird in S496 verlassen.

Fig. 26 zeigt die Routine CALC_n S327, welche die Drehzahl n des Motors berechnet.

In S500 wird die Drehzahl n berechnet. Es gilt

$$n = 60/360^\circ * (\text{PHI} - \text{PHI_OLD}) / (t_{\text{MV}} - t_{\text{MV_OLD}})$$

Die Drehzahl n ist proportional zu dem Quotienten aus der Winkeldifferenz des Winkels PHI zum Messzeitpunkt t_{MV} und dem Winkel PHI_OLD zum Messzeitpunkt $t_{\text{MV_OLD}}$ und der Zeitdifferenz des Messzeitpunkts t_{MV} der momentanen Messung und des Messzeitpunkts $t_{\text{MV_OLD}}$ der vorhergehenden Messung. Der Faktor $60/360^\circ$ bestimmt die Einheit U/min.

Wird die Messung in festen Zeitabständen ausgeführt, so ist der Wert $t_{\text{MV}} - t_{\text{MV_OLD}}$ konstant und kann durch eine Konstante ersetzt werden, vgl. Interrupt 110 in Fig. 19.

Der obige Zusammenhang ergibt sich aus

$$n = 60/(2 \cdot \pi) \quad w = 60/(2 \cdot \pi) \quad d/dt \text{ PHI}(t)$$

wobei w die Winkelgeschwindigkeit ist und PHI im Bogenmaß anzugeben ist.

Der Wert PHI kann in dem gesamten Programm wahlweise als Winkelwert, im Bogenmaß oder in einer anderen eindeutig zuordenbaren Form angegeben werden.

In S502 wird die Regleroutine RGL durch Setzen des Anforderungsflags auf 1 angefordert.

In S504 wird das Anforderungsflag der Routine CALC_n zurückgesetzt und in S506 die Routine CALC_n verlassen.

Fig. 27 zeigt die Routine RGL S331, welche den Stellwert PMW_SW für die Einstellung des erforderlichen Tastverhältnisses berechnet, vgl. Fig. 18.

In S510 wird die Regeldifferenz RGL_DIFF aus der Differenz zwischen dem Sollwert n_s und dem Istwert n berechnet.

In S512 wird die Stellgröße RGL_VAL mit einem üblichen PI-Regler mit dem Proportionalanteil RGL_PROP und dem Integralanteil RGL_INT berechnet. Die Höhe der Anteile wird durch die Faktoren RGL_P und RGL_I bestimmt. Die Gleichungen für die Berechnung von RGL_PROP und RGL_INT sind angegeben.

In S514 wird überprüft, ob die Stellgröße RGL_VAL kleiner als 0 ist. Falls Ja, wird sie in S516 auf das kleinstmögliche Tastverhältnis 0 gesetzt.

Im S518 wird überprüft, ob die Stellgröße RGL_VAL größer als RGL_MAX ist. Falls Ja, wird sie in S520 auf das größtmögliche Tastverhältnis RGL_MAX gesetzt.

In S522 wird die Stellgröße RGL_VAL dem Ausgabewert PWM_SW zugeordnet, welcher das Tastverhältnis und damit die Höhe des Wicklungsstroms bestimmt.

In S524 wird das Anforderungsflag der Routine RGL zurückgesetzt und in S526 die Routine RGL verlassen.

Naturgemäß sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung vielfache Abwandlungen und Modifikationen möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Elektromotors, welcher aufweist:
einen Stator (39),
einen Außenrotor (40), welcher Außenrotor (40) einen Sensormagnet (54) mit
einer Mehrzahl von Sensorpolen (55) aufweist,
mindestens einen mit dem Stator verbundenen Rotorstellungssensor (42, 44),
und eine Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100),
welches Verfahren folgende Schritte aufweist:
 - A) Mit dem mindestens einen Rotorstellungssensor (100) wird mindestens
ein von der Drehstellung des Sensormagneten (54) abhängiges
Rotorstellungssignal erzeugt;
 - B) das mindestens eine Rotorstellungssignal wird der
Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) zugeführt;
 - C) das mindestens eine Rotorstellungssignal wird in der
Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) in mindestens einen digitalen
Wert mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit umgewandelt, wodurch das
mindestens eine Rotorstellungssignal auch bei Drehstellungen im Inneren
des Winkelbereichs eines Sensorpols in unterschiedliche digitale Werte
umgewandelt werden kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei welchem das mindestens eine Rotorstellungssignal als analoges
Rotorstellungssignal erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
bei welchem das mindestens eine Rotorstellungssignal in der
Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) in mindestens einen digitalen Wert
mit einer Auflösung von mindestens 4 Bit umgewandelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei welchem das mindestens eine Rotorstellungssignal in der

Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) in mindestens einen digitalen Wert mit einer Auflösung von mindestens 8 Bit umgewandelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
A1) Der Schritt A wird ständig ausgeführt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
B1) Der Schritt B wird ständig ausgeführt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
C1) Der Schritt C) wird in zeitlichen Abständen wiederholt.
8. Verfahren nach Anspruch 8, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
C2) Der Schritt C) wird in festen zeitlichen Abständen wiederholt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
C3) Der mindestens eine digitale Wert wird auf einen Wert innerhalb eines vorgegebenen Wertebereich umgesetzt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
C4) Für die Normierung aus Schritt C3) wird jeweils in einer vorhergehenden Umdrehung des Außenrotors 40 mindestens ein Korrekturwert ermittelt und gespeichert.
11. Verfahren nach Anspruch 10, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

C5) In Schritt C4) wird aus dem aktuellen Korrekturwert und mindestens einem vorhergehenden Korrekturwert ein Mittelwert gebildet.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

D) Aus dem mindestens einen digitalen Wert wird die Drehstellung des Außenrotors (40) berechnet.

13. Verfahren nach Anspruch 12, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

D1) In Schritt D) wird mittels des mindestens einen digitalen Werts die Anzahl der Perioden erfasst, die zumindest eines der Rotorstellungssignale durchlaufen hat.

14. Verfahren nach Anspruch 13, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

D2) In Schritt D1) wird nach der Erfassung einer vorgegebenen Zahl von Perioden die Periodenzahl auf einen vorgegebenen Wert zurückgesetzt.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

D3) Mittels der ermittelten Anzahl der Perioden und des mindestens einen digitalen Werts wird die Drehstellung des Außenrotors (40) berechnet.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15 für einen Elektromotor, dessen Sensormagnet zwei Rotorstellungssensoren (42, 44) zugeordnet sind, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

D4) In Schritt D) werden zur Berechnung der Drehstellung des Außenrotors (40) die digitalisierten Werte beider Rotorstellungssensoren verwendet.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:

- E) Aus der berechneten Drehstellung des Außenrotors zu einem ersten Zeitpunkt und der berechneten Drehstellung des Außenrotors zu einem zweiten Zeitpunkt wird die Drehzahl des Außenrotors ermittelt.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
- F) Aus der zeitlichen Änderung des mindestens einen digitalen Werts wird die Drehrichtung des Außenrotors (40) ermittelt.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zusätzlich folgenden Schritt aufweist:
- G) Beim Start des Elektromotors wird der Außenrotor (40) in eine definierte Ausgangsstellung gebracht.
20. Verfahren nach Anspruch 19, bei welchem der Außenrotor (40) beim Start durch eine Bestromung des Stators (39) in die definierte Ausgangsstellung gebracht wird.
21. Elektromotor, welcher aufweist:
- Einen Stator (39),
einen Außenrotor (40),
welcher Außenrotor (40) einen Sensormagnet (54) mit einer Mehrzahl SP von Sensorpolen (55) aufweist,
mindestens einem Rotorstellungssensor (42, 44) zur Erzeugung eines Rotorstellungssignals (140, 142),
eine Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) zur Erzeugung eines Absolutwerts für die Rotorstellung,
welche einen A/D-Wandler (144) mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit aufweist,
wobei der mindestens eine Rotorstellungssensor (42, 44) mit dem A/D-Wandler (144) verbunden ist.

22. Elektromotor nach Anspruch 21,
bei welchem der mindestens eine Rotorstellungssensor (42, 44) als analoger Rotorstellungssensor ausgebildet ist.
23. Elektromotor nach Anspruch 21 oder 22,
bei welchem die Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) als Absolutwertgeber (100) für die Rotorstellung ausgebildet ist, welcher zu jedem Zeitpunkt durch eine Auswertung des Rotorstellungssignals die Position des Rotors anzeigen kann.
24. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 23,
wobei der A/D-Wandler (144) eine Auflösung von mindestens 4 Bit aufweist.
25. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 24,
wobei der A/D-Wandler (144) eine Auflösung von mindestens 8 Bit aufweist.
26. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 25,
mit einem Mikroprozessor (100), welcher zumindest einen Teil der Rotorstellungsauswertungsvorrichtung (100) bildet.
27. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 26,
bei welchem der mindestens eine Rotorstellungssensor (42, 44) auf der radial inneren Seite des Sensormagneten (54) angeordnet ist.
28. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 27,
welcher zwei Rotorstellungssensoren (42, 44) aufweist, welche in einem Abstand von $n \cdot 180^\circ \text{ el.} + 90^\circ \text{ el.}$ mit $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ angeordnet sind.
29. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 28, wobei der Sensormagnet eine Sensorpolanzahl $SP \geq 10$ aufweist.
30. Elektromotor nach einem der Ansprüche 21 bis 28,
bei welchem der Außenrotor (40) einen Sensormagnet (54) und einen mit dem

Stator (39) in Wechselwirkung stehenden Rotormagnet (50) mit einer Mehrzahl RP von Rotorpolen aufweist, wobei $RP < SP$ ist.

31. Elektromotor nach Anspruch 30, wobei der Rotormagnet (50) eine trapezförmige Magnetisierung aufweist.
32. Elektromotor nach Anspruch 30 oder 31, wobei der Außenrotor (40) einen nichtmagnetisierten Bereich (52) zwischen dem Rotormagneten (50) und dem Sensormagneten (54) aufweist.
33. Elektromotor nach einem der Ansprüche 30 bis 32, bei welchem für die Anzahl SP der Sensorpole gilt:
 $SP = (2n - 1) * RP$ mit $n = 1, 2, 3, 4, \dots$
34. Elektromotor nach Anspruch 33, wobei $n \geq 2$ ist.
35. Elektromotor nach Anspruch 33, wobei $n \geq 3$ ist.
36. Elektromotor nach Anspruch 33, wobei $n \geq 4$ ist.
37. Elektromotor nach einem der Ansprüche 30 bis 36, wobei der Außenrotor derart ausgebildet ist, dass der Sensormagnet (54) an den Winkelstellen, an denen der Rotormagnet (50) einen Wechsel der Magnetfeldrichtung aufweist, ebenfalls einen Wechsel der Magnetfeldrichtung aufweist.
38. Elektromotor nach Anspruch 37, wobei an diesen Winkelstellen der Wechsel der Magnetfeldrichtung sowohl beim Sensormagneten (54) als auch beim Rotormagneten (50) in die gleiche Richtung erfolgt.

39. Elektromotor nach einem der Ansprüche 30 bis 38,
wobei der Rotormagnet (50) und der Sensormagnet (54) einstückig ausgebildet
sind.

Anmelderin: PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG
Hermann-Papst-Straße 1
78112 St. Georgen

Bezeichnung: Rotorstellungssensoranordnung und Verfahren zur Erfassung der Rotorstellung

Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Elektromotors mit einem Stator, einem Außenrotor (40), welcher Außenrotor (40) einen Sensormagnet (54) mit einer Mehrzahl von Sensorpolen (55) aufweist, mit mindestens einem mit dem Stator verbundenen Rotorstellungssensor (42, 44) und mit einer Rotorstellungsauswertungsvorrichtung. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf: Mit dem mindestens einen Rotorstellungssensor wird mindestens ein von der Drehstellung des Sensormagneten (54) abhängiges Rotorstellungssignal erzeugt. Das mindestens eine Rotorstellungssignal wird der Rotorstellungsauswertungsvorrichtung zugeführt. Das mindestens eine Rotorstellungssignal wird in der Rotorstellungsauswertungsvorrichtung in mindestens einen digitalen Wert mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit umgewandelt, wodurch das mindestens eine Rotorstellungssignal auch bei Drehstellungen im Inneren des Winkelbereichs eines Sensorpols in unterschiedliche digitale Werte umgewandelt werden kann.

Weiterhin betrifft die Erfindung einen Elektromotor mit einem Stator und einem Außenrotor (40), wobei der Außenrotor (40) einen Sensormagnet (54) mit einer Mehrzahl SP von Sensorpolen (55) aufweist, mit mindestens einem Rotorstellungssensor (42, 44) zur Erzeugung eines Rotorstellungssignals, mit einer Rotorstellungsauswertungsvorrichtung zur Erzeugung eines Absolutwerts für die Rotorstellung, welche einen A/D-Wandler (144) mit einer Auflösung von mindestens 2 Bit aufweist, wobei der mindestens eine Rotorstellungssensor (42, 44) mit dem A/D-Wandler verbunden ist.

Hierzu Fig. 5

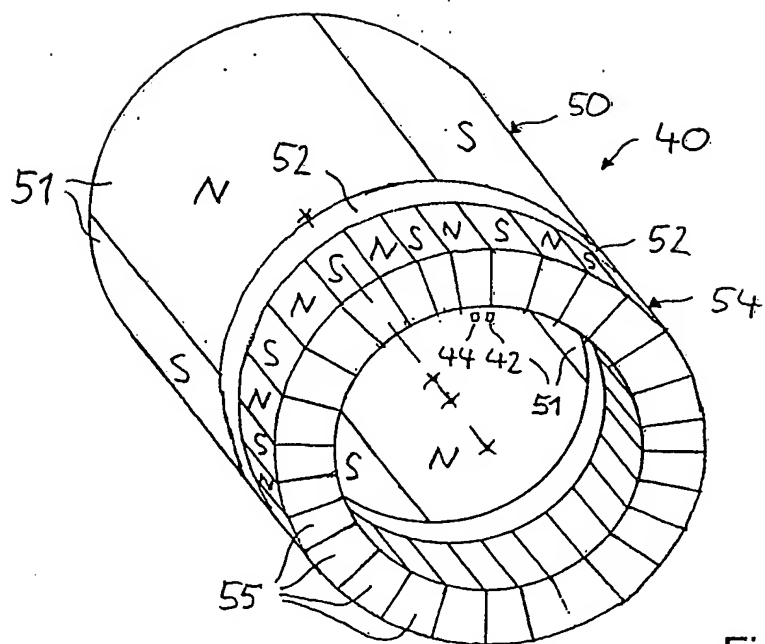


Fig. 5

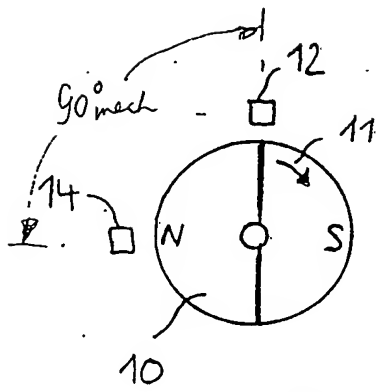


Fig. 1

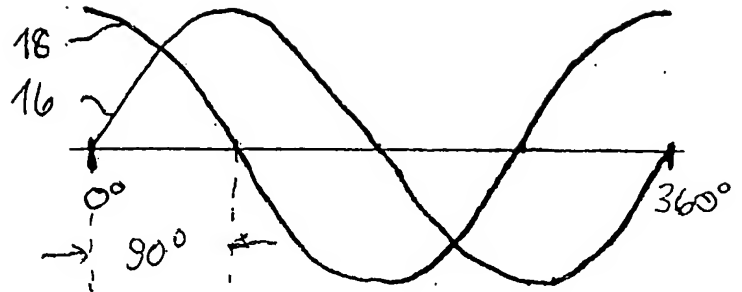


Fig. 2

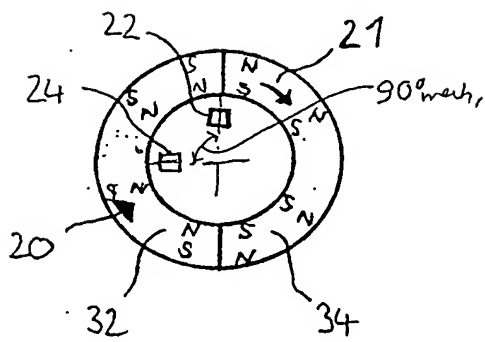


Fig. 3

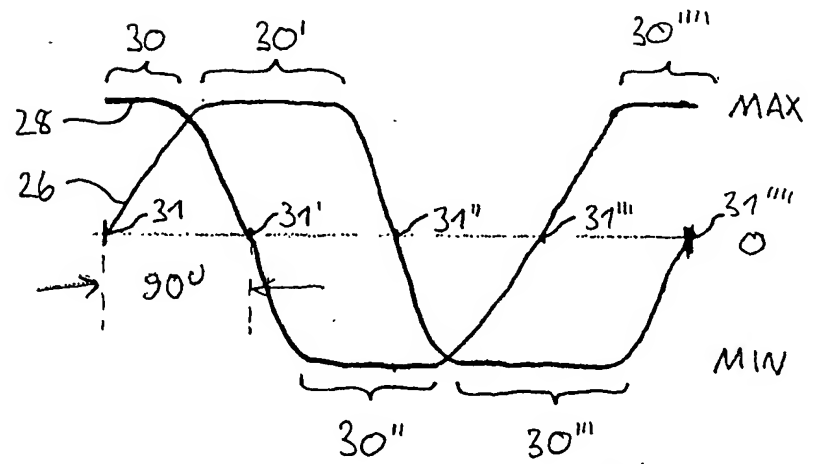


Fig. 4

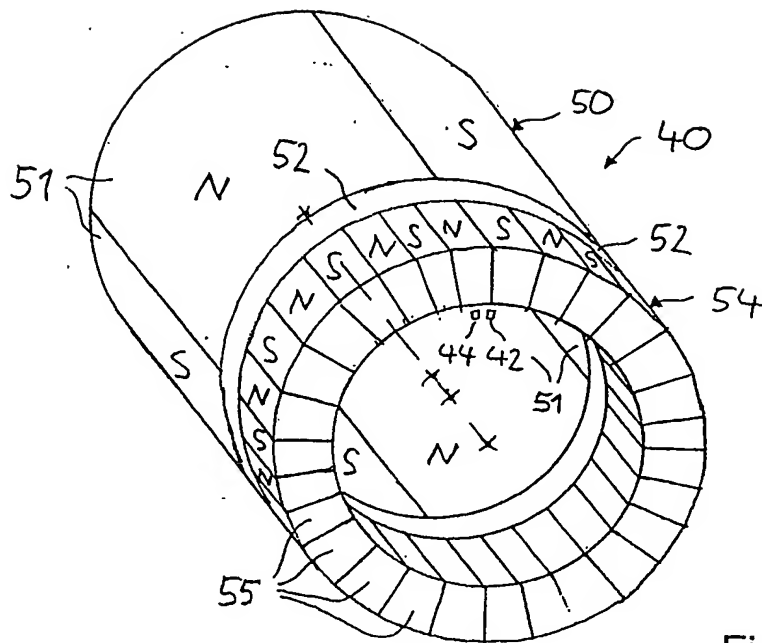


Fig. 5

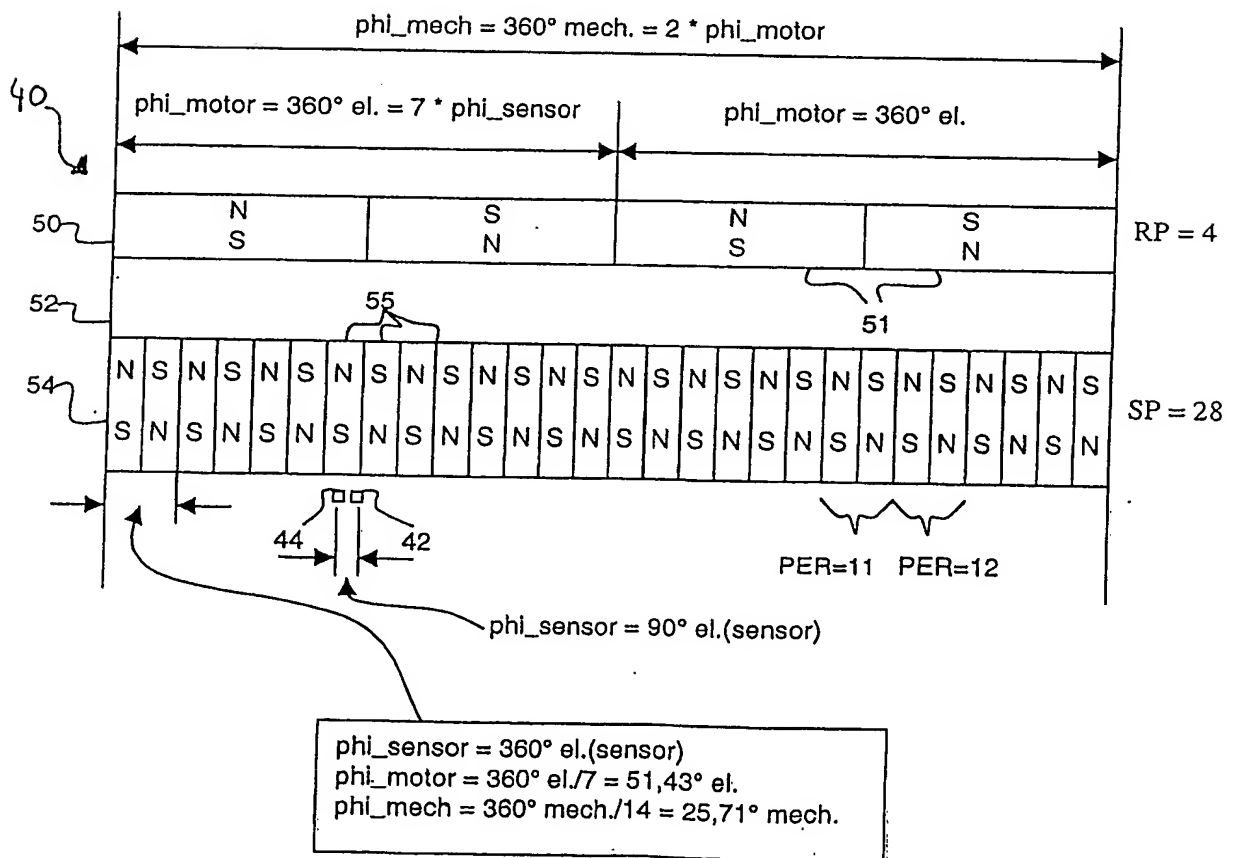


Fig. 6

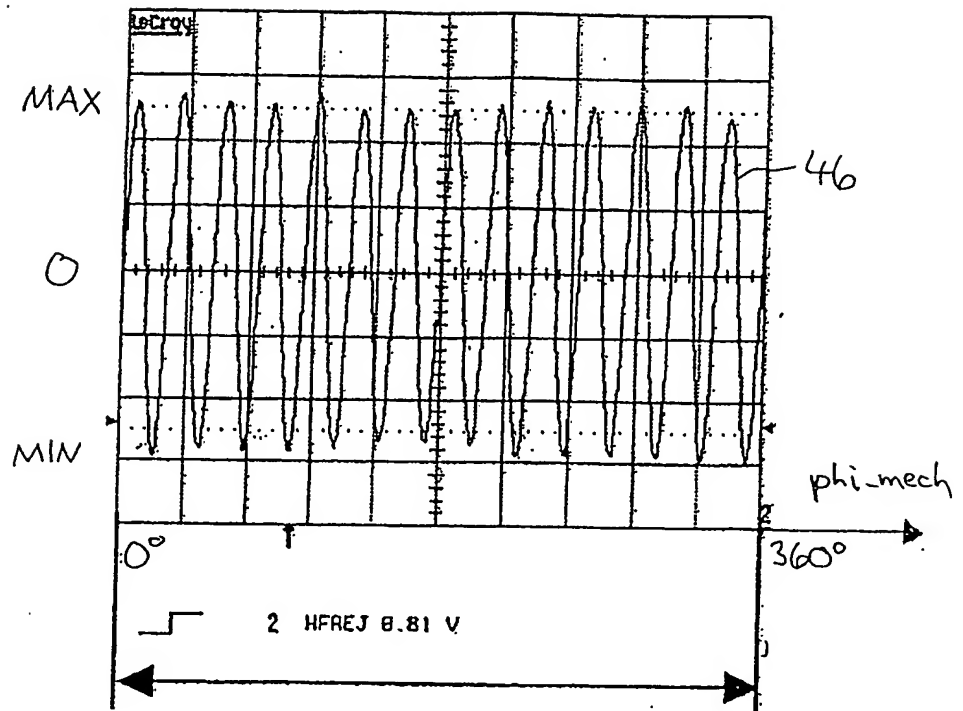


Fig. 7

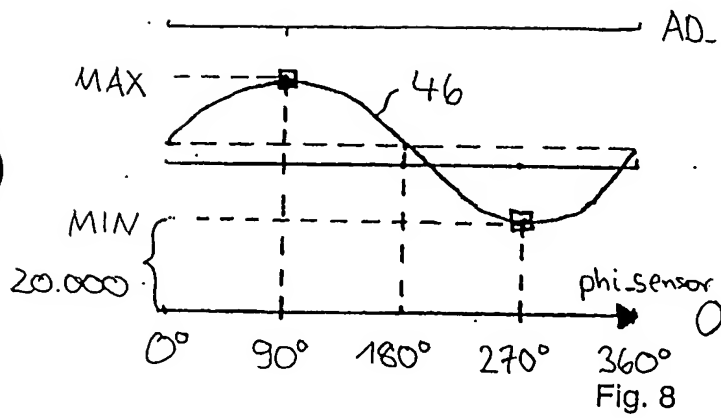


Fig. 8

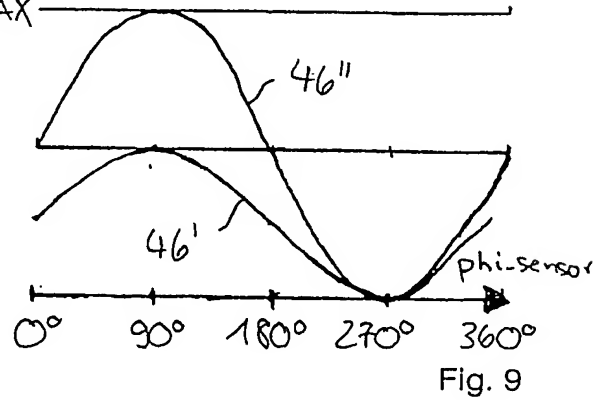


Fig. 9

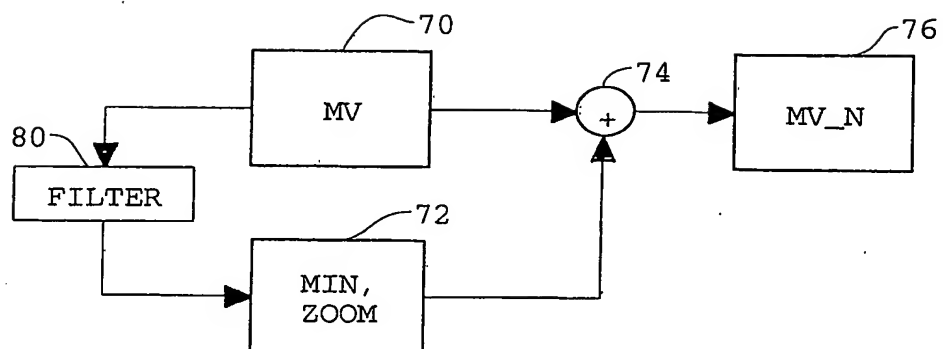


Fig. 10

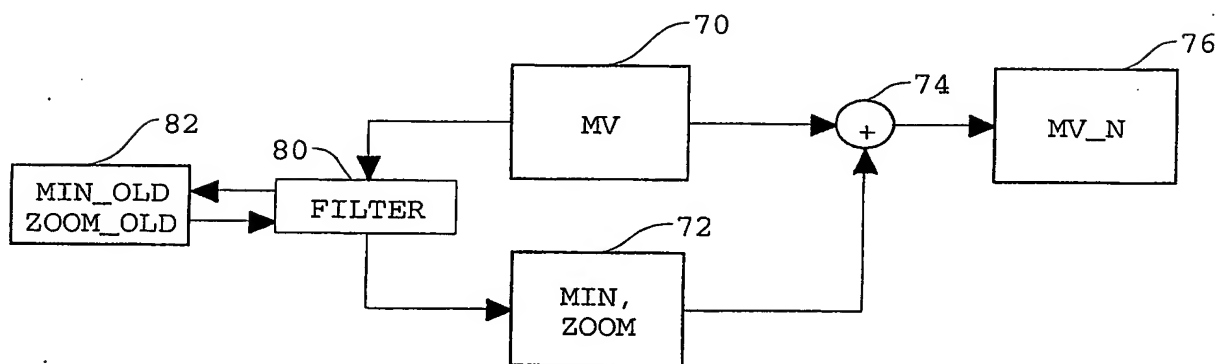


Fig. 11

5/19

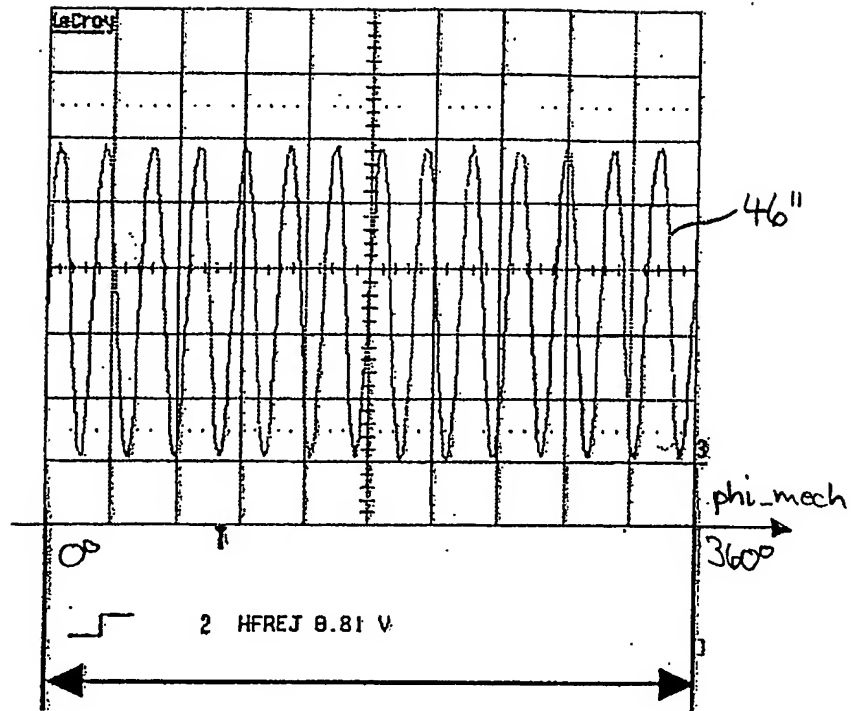


Fig. 12

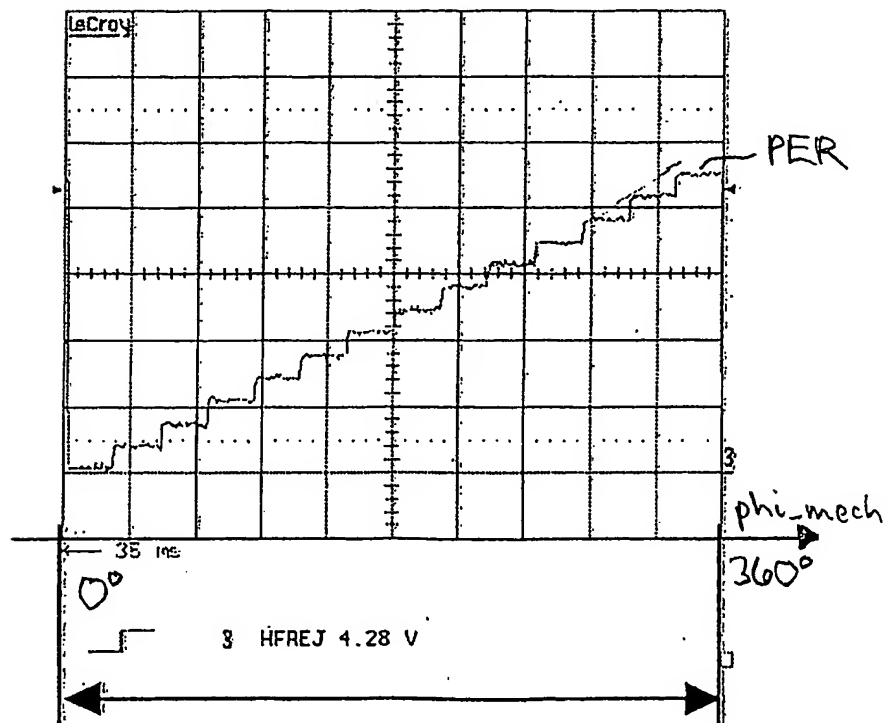


Fig. 13

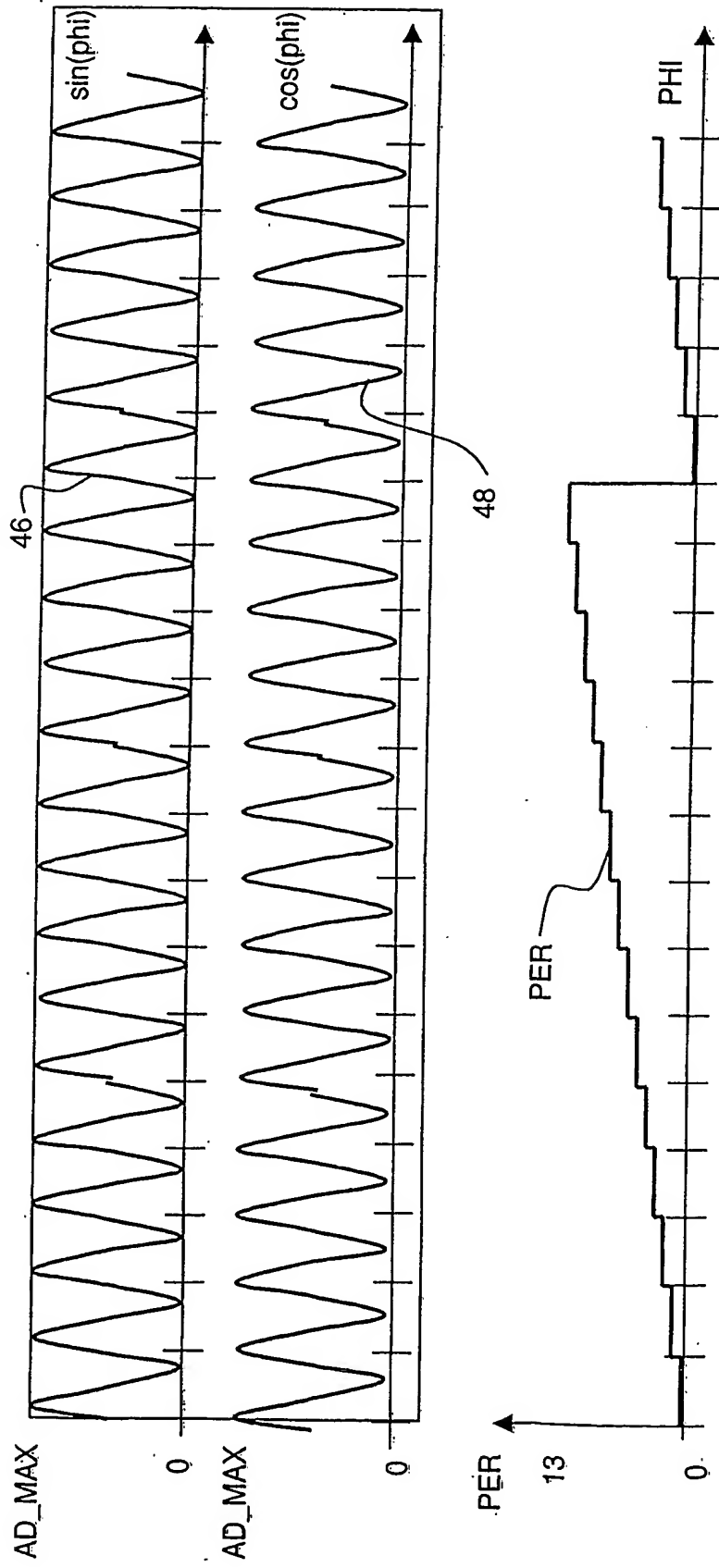


Fig. 14

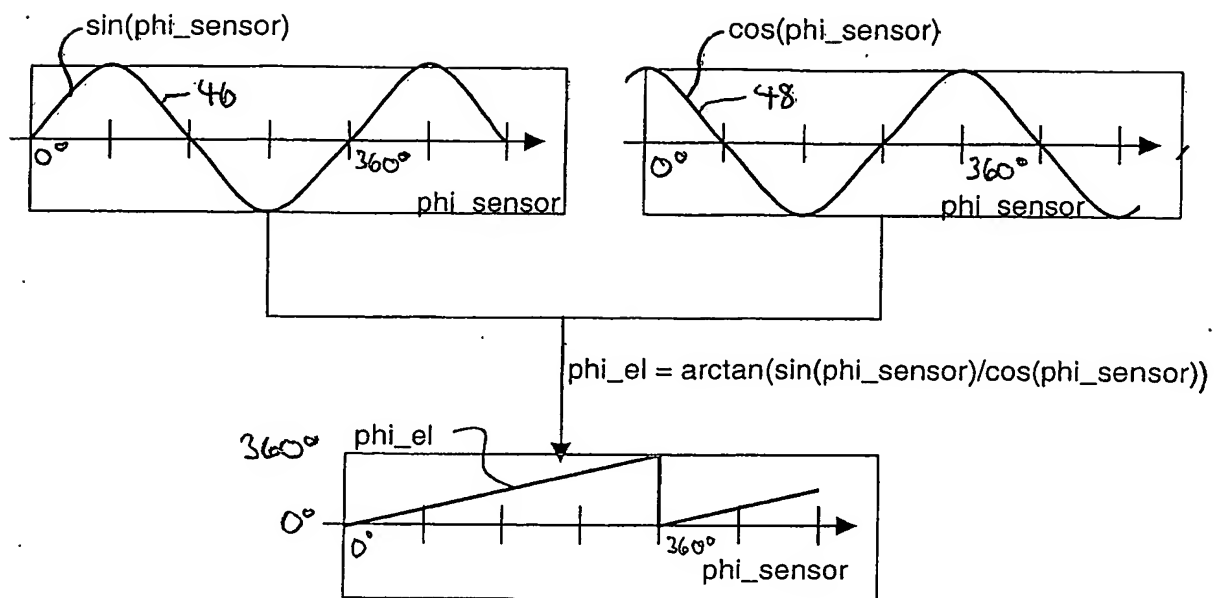


Fig. 15

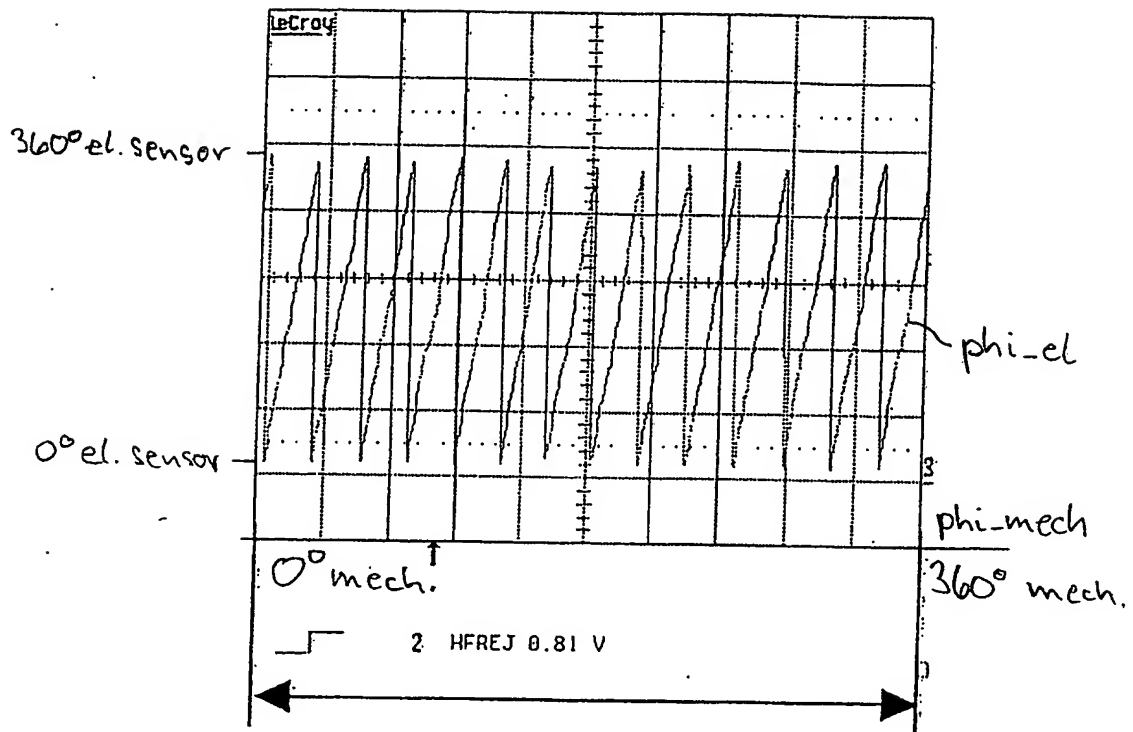


Fig. 16

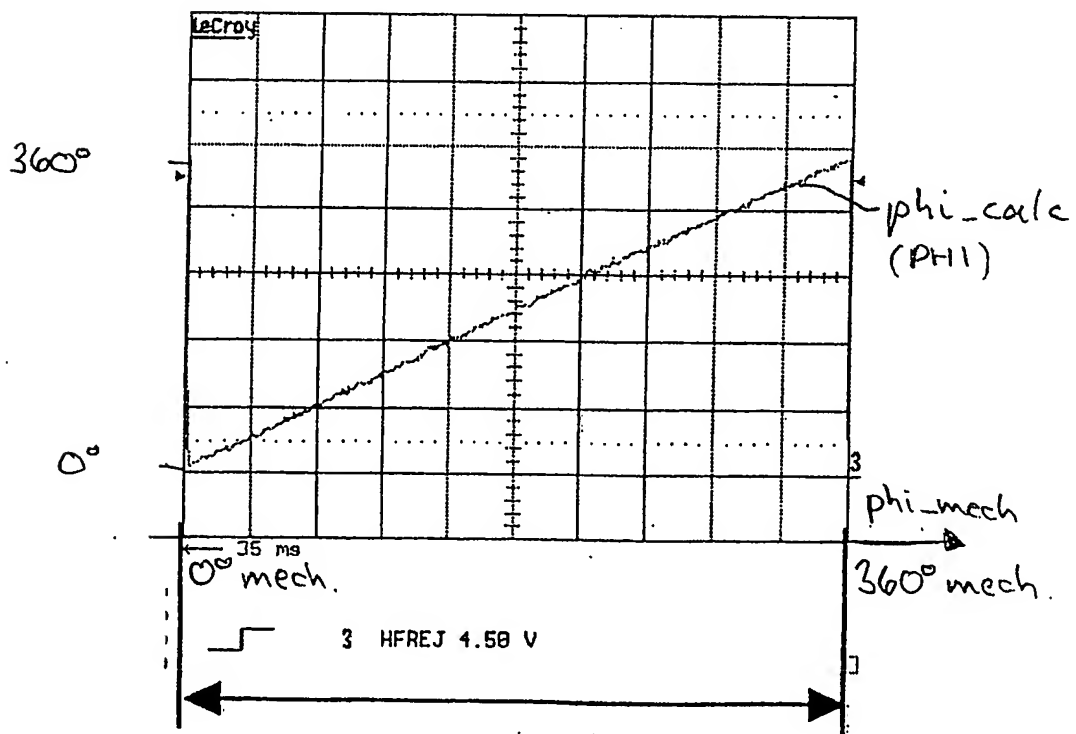


Fig. 17

9/19

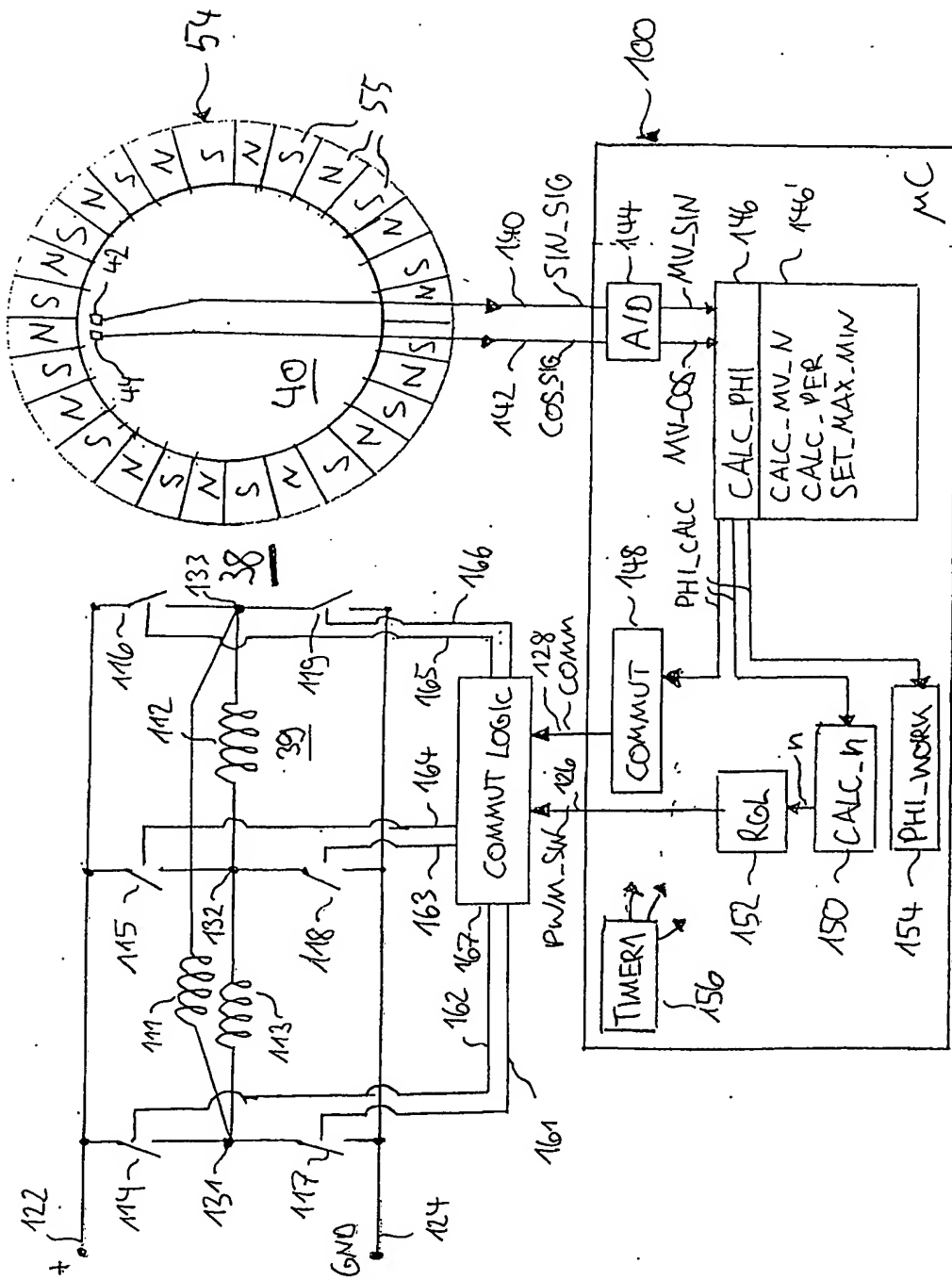


Fig. 18

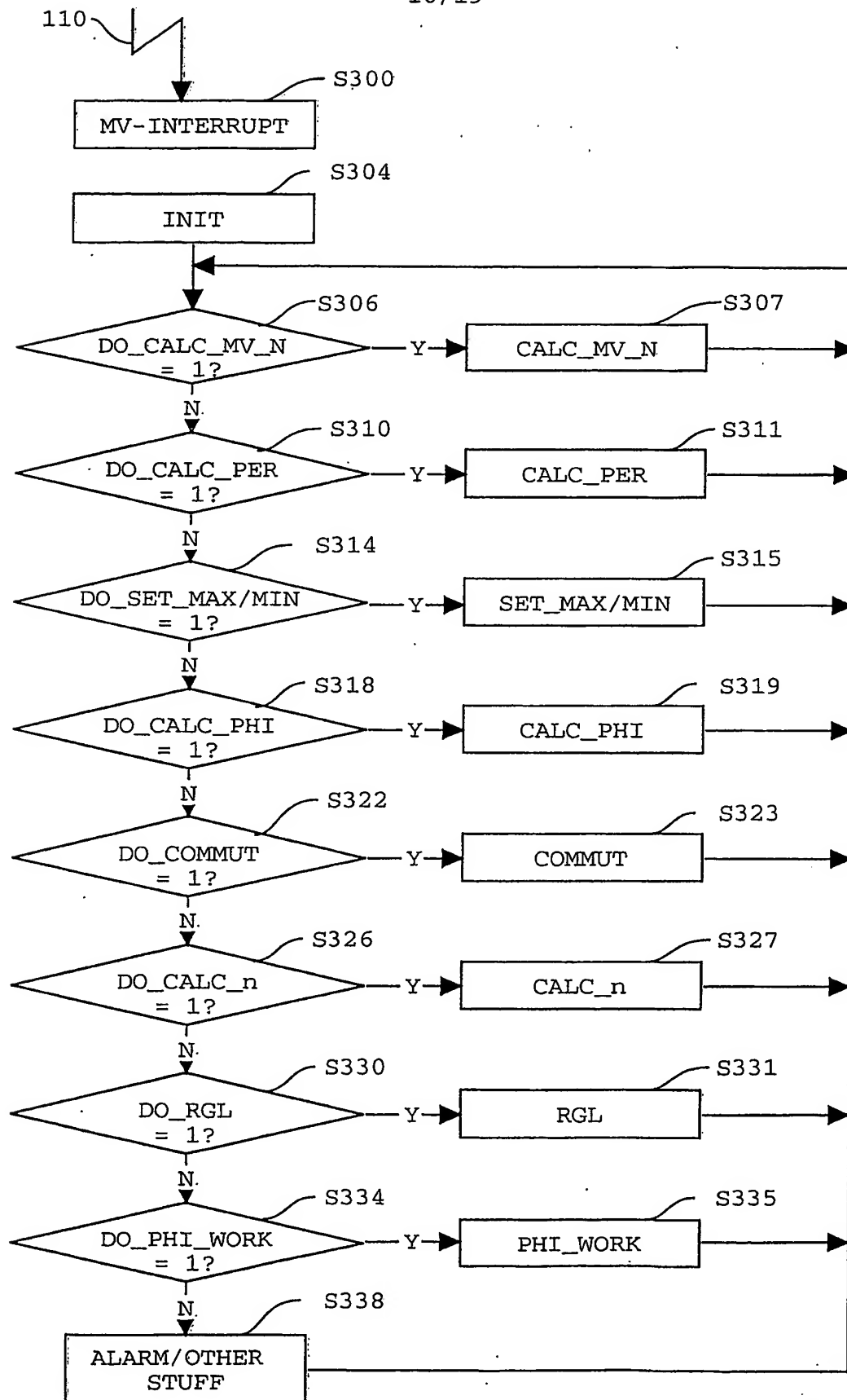


Fig. 19

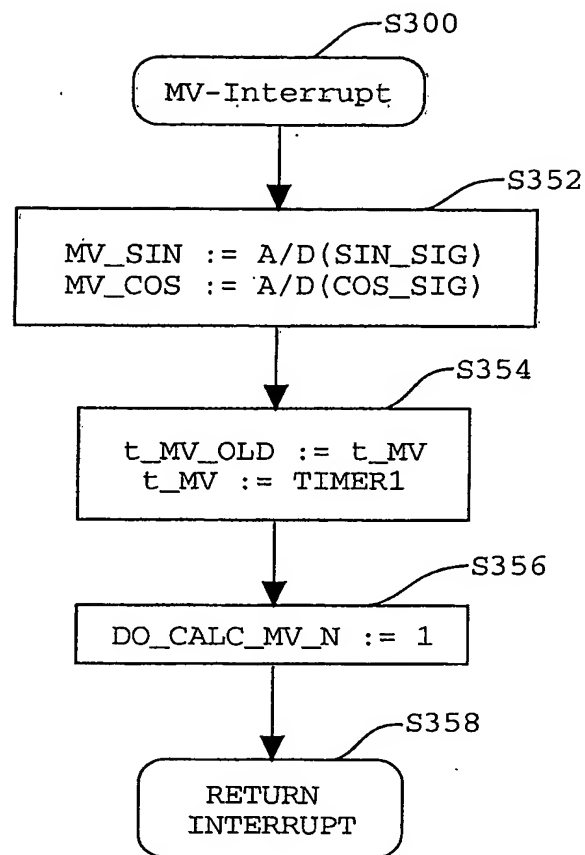


Fig. 20

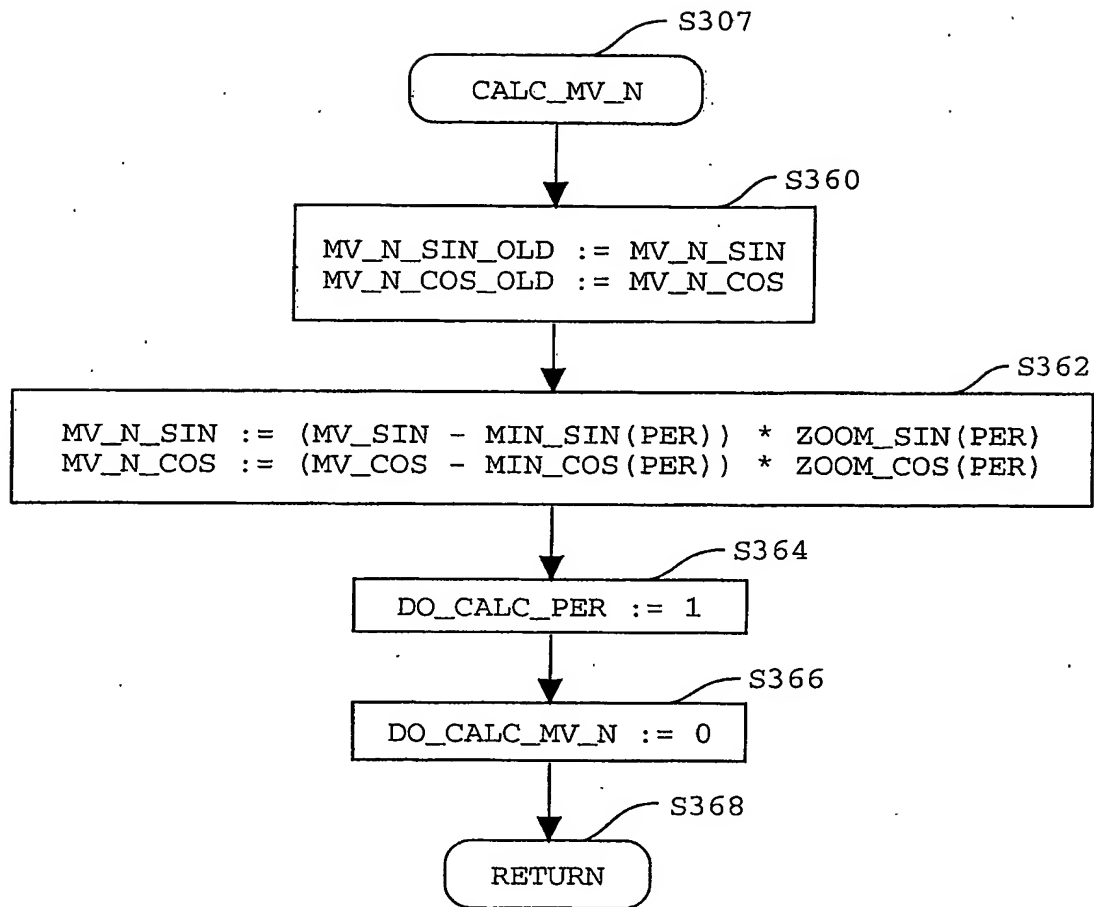


Fig. 21

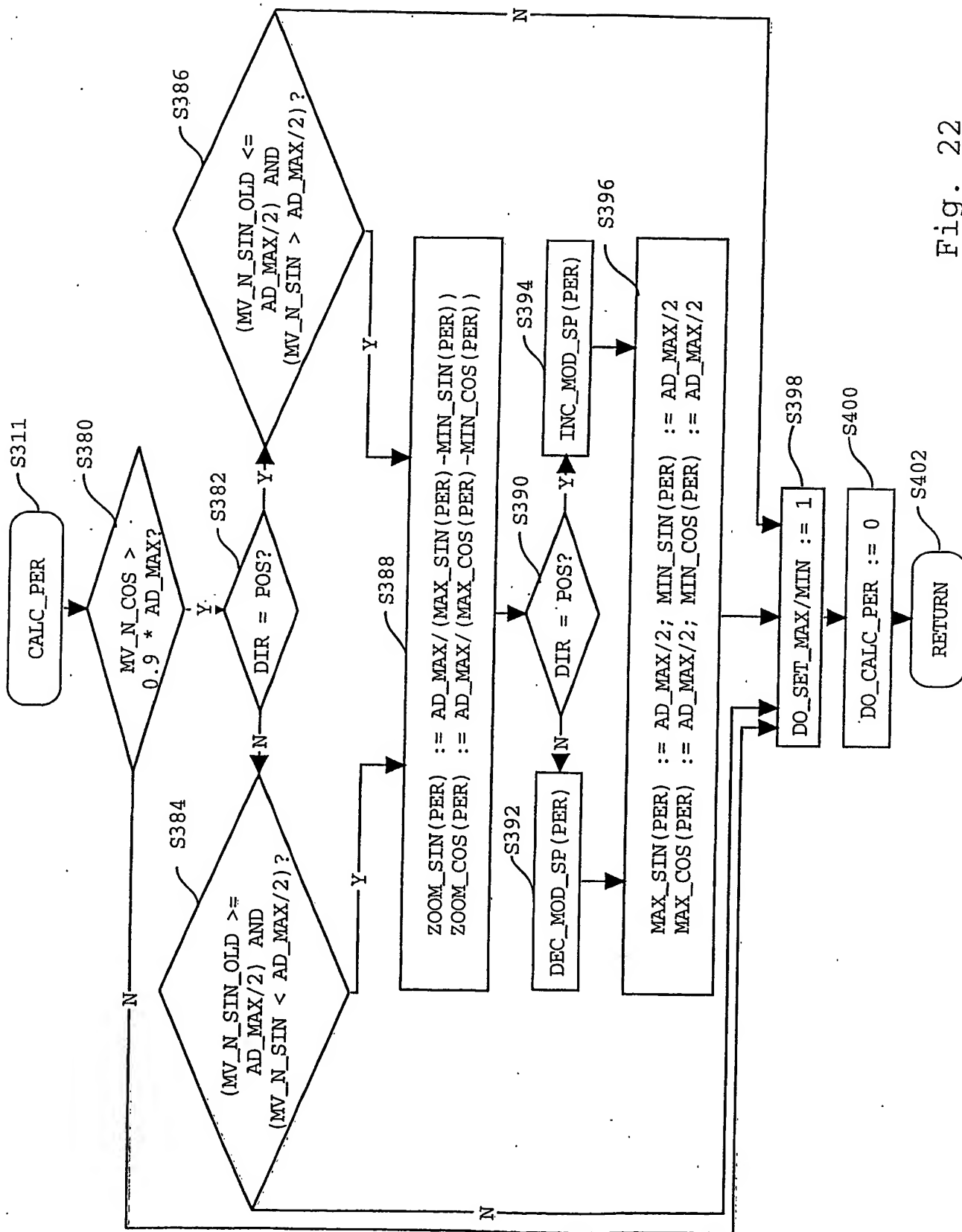


Fig. 22

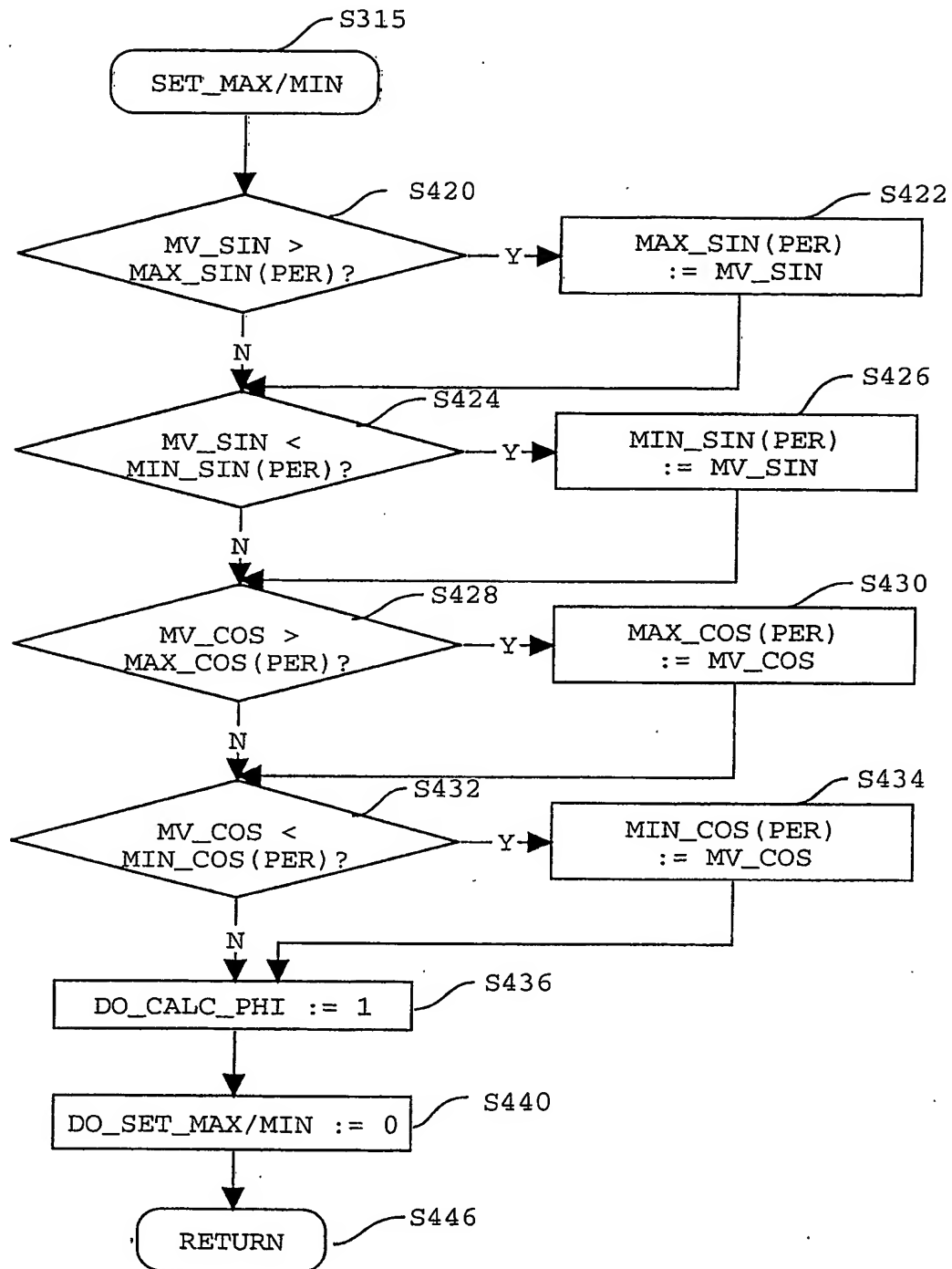


Fig. 23

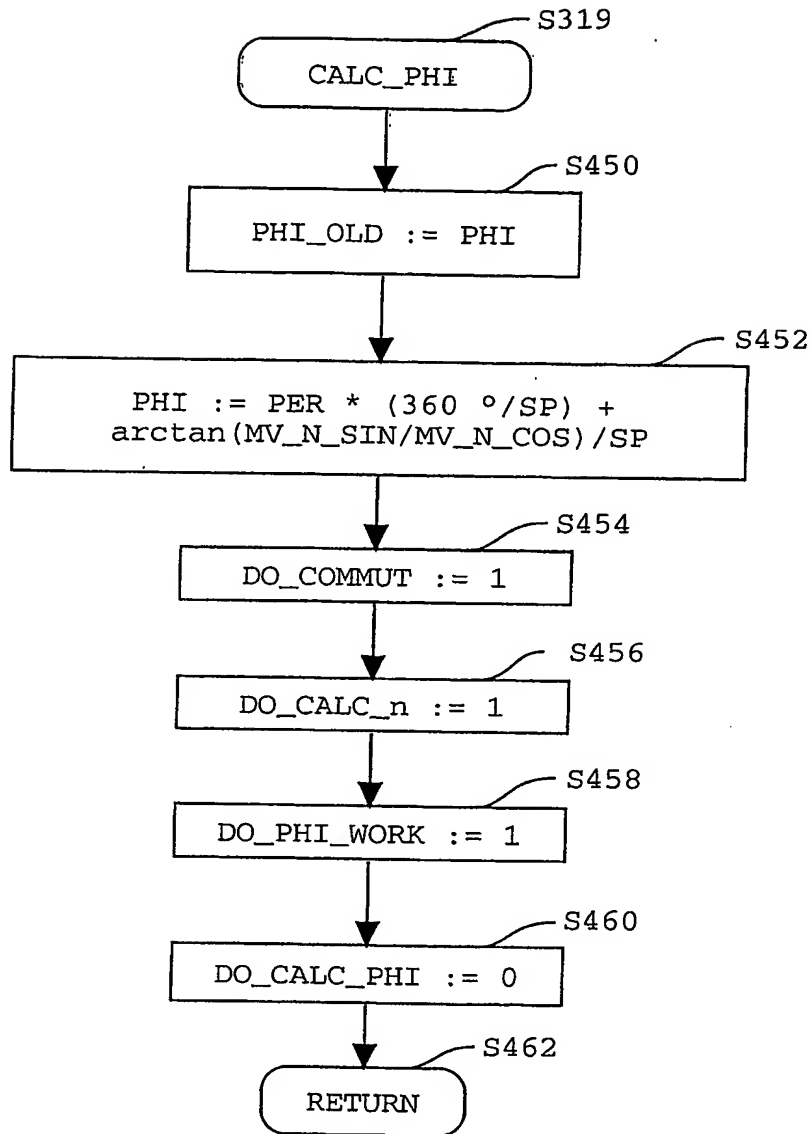


Fig. 24

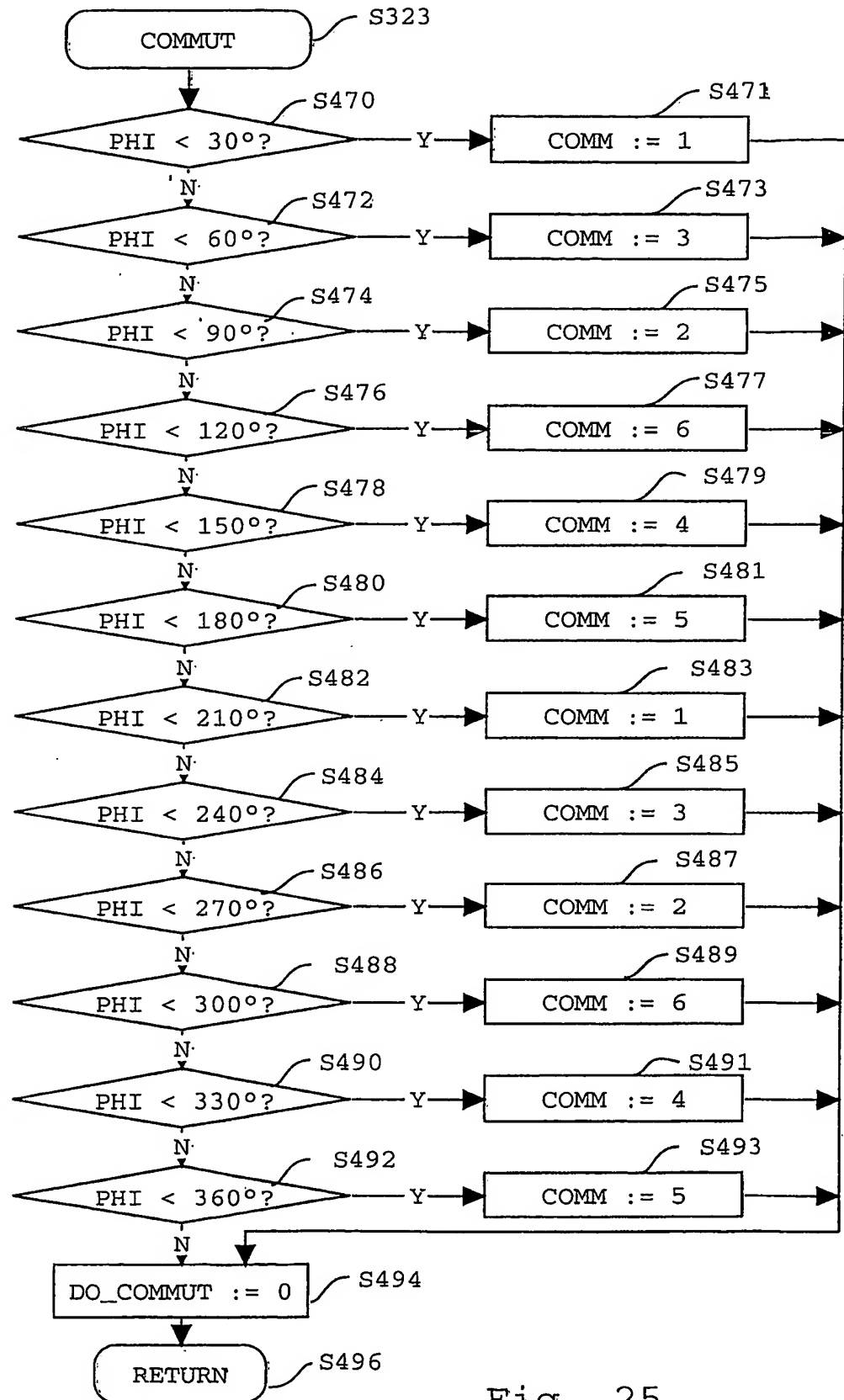


Fig. 25

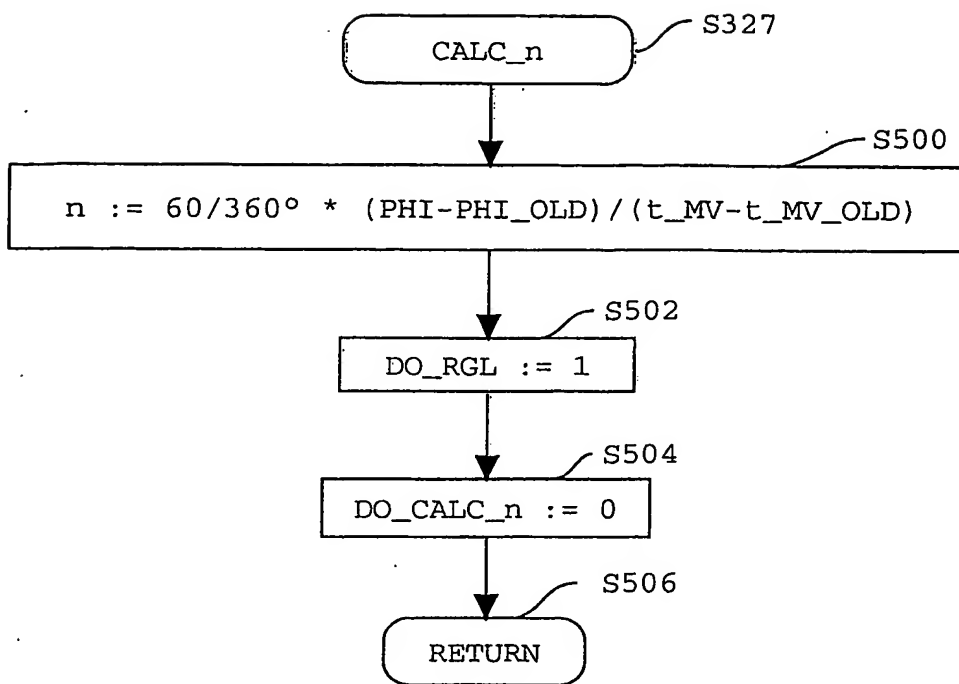


Fig. 26

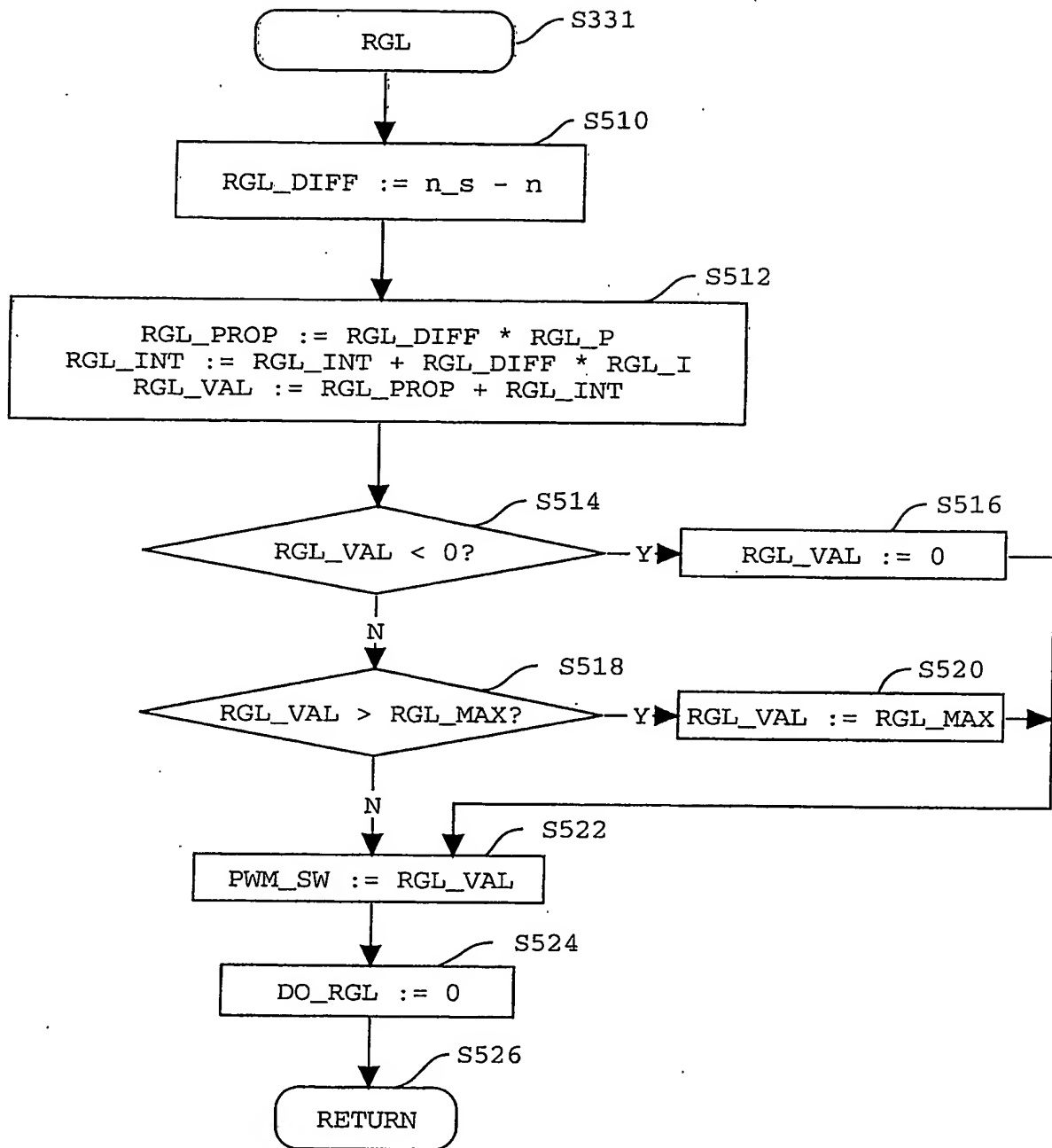


Fig. 27

19/19

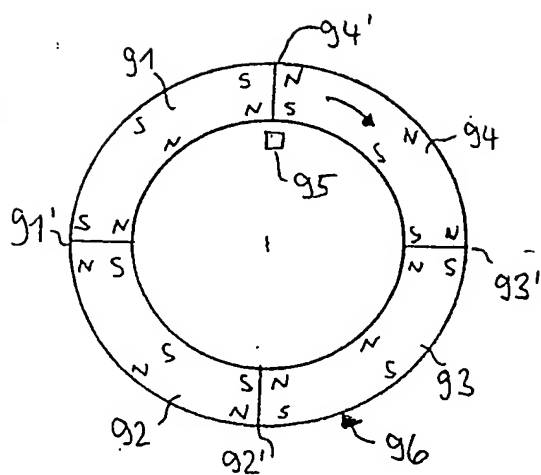


Fig. 28

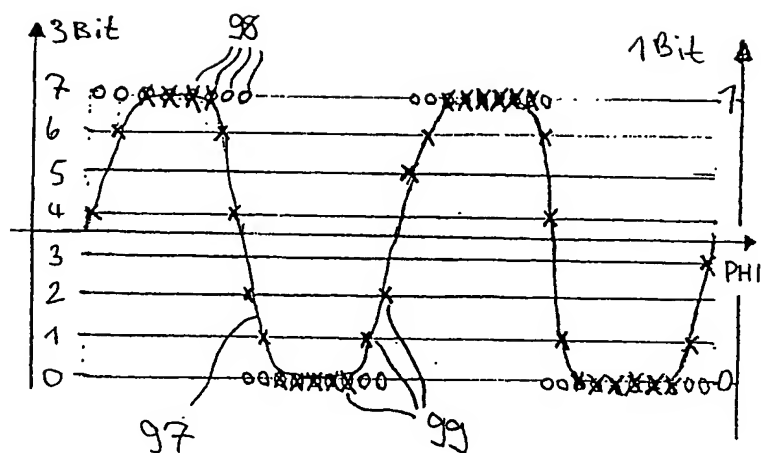


Fig. 29

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.